



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

VLIV HLINĚNÝCH OMÍTEK NA TEPELNOU STABILITU MÍSTNOSTI

EFFECT OF CLAY PLASTERS APPLICATION ON HEAT STORAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavla Koukalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | N3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608T001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav pozemního stavitelství |

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|------------------------|---|
| Student | Bc. Pavla Koukalová |
| Název | Vliv hliněné omítky na tepelnou stabilitu místnosti |
| Vedoucí práce | Ing. David Bečkovský, Ph.D. |
| Datum zadání | 31. 3. 2015 |
| Datum odevzdání | 15. 1. 2016 |

V Brně dne 31. 3. 2015

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Katalogy a odborná literatura. Předpis č. 62/2013 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb. Předpis č. 499/2006 Sb. - Vyhláška o dokumentaci staveb. Předpis č. 20/2012 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 398/2009 Sb. - Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Platné ČSN, příp. další podklady.....

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání VŠKP: Vliv hliněné omítky na tepelnou stabilitu místnosti

Cíl práce: Rámcové cíle práce jsou měření parametrů stavebních konstrukcí a studium procesů v nich probíhajících. Přesné stanovení cílů bude dohodnuto s vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce. Textová i výkresová část bude zpracována s využitím výpočetní techniky (v textovém a grafickém editoru). Výkresy budou opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy složené do desek z tvrdého papíru potažených černým plátnem s předepsaným popisem se zlatým písmem.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je výzkum vlivu vnitřních hliněných omítek a přirozeného větrání na tepelnou stabilitu místnosti. Kromě teoretického rozboru základních charakteristik hlíny jakožto stavebního materiálu je také provedeno experimentální ověření charakteristických vlastností vybrané hliněné omítky v závislosti na absolutní vlhkosti okolního vzduchu.

Dále se práce zabývá studiem teplotně vlhkostních parametrů vnitřního prostředí v závislosti na charakteru přirozeném větrání.

V poslední řadě dochází k numerickému ověření vlivu hliněných omítek na tepelnou stabilitu místnosti v přechodném období pomocí programu Simulace 2015.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hliněné omítky, teplota, vlhkost, přirozené větrání, koncentrace CO₂, tepelná stabilita

ABSTRACT

The aim of this master thesis is a research of effects of clay plaster application and natural ventilation on heat storage of a room. In addition to theoretical analysis of basic characteristics of clay as material used in the field of civil engineering, an experimental verification of these characteristical features is carried out as well.

The thesis also studies thermal comfort of a room in terms of humidity and concentration of CO₂ in dependence of natural ventilation.

In the last part, numerical verification of effects of clay plaster application on heat storage is calculated using Simulace 2015 software.

KEYWORDS

Clay plaster, temperature, humidity, natural ventilation, concentration of CO₂, thermal stability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Pavla Koukalová *Vliv hliněných omítek na tepelnou stabilitu místnosti*. Brno, 2017. 82 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2017

Bc. Pavla Koukalová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ze všeho nejvíce bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidovi Bečkovskému, PhD. za čas, který mi věnoval a za mnoho cenných a trpělivých rad, které mi poskytl při vedení mé diplomové práce. Dále bych na tomto místě chtěla z celého srdce poděkovat celé své rodině za jejich podporu během mého nekonečného studia. V neposlední řadě děkuji za podporu a pomoc v těžších chvílích také všem svým přátelům.

V Brně dne 8. 1. 2017

Bc. Pavla Koukalová

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. ÚVOD | 10 |
| 2. BUDOVY A VÝBĚR MATERIÁLU | 11 |
| 3. KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR..... | 13 |
| 3.1 Vnitřní prostředí..... | 14 |
| 3.1.1 Tepelná pohoda a kvalita vnitřního prostředí | 15 |
| 3.1.2 Tepelná stabilita místnosti v zimním období..... | 16 |
| 3.1.3 Tepelná stabilita místnosti v letním období..... | 18 |
| 3.2 Výměna vzduchu v místnosti..... | 21 |
| 3.2.1 Větrání v zimním období | 21 |
| 3.2.2 Větrání v letním období | 21 |
| 3.2.3 Výpočet výměny vzduchu malého pokoje..... | 22 |
| 3.3. Stavební úpravy zlepšující tepelnou stabilitu | 24 |
| 4. STAVEBNICTVÍ V ČÍSLECH V ČR..... | 26 |
| 4.1. Trend od roku 2010 do 2013..... | 26 |
| 4.2. Byty v ČR rozdělené podle způsobu vytápění..... | 26 |
| 4.3. Roky 2014 a 2015 | 30 |
| 5. VYUŽITÍ HLÍNY PRO STAVEBNÍ MATERIÁLY..... | 31 |
| 5.1. Vlastnosti hlíny | 31 |
| 5.2. Dostupné hliněné výrobky | 33 |
| 5.3. Složení hliněných omítek..... | 35 |
| 5.4. Působení vody – bobtnání a smršťování..... | 38 |
| 5.5. Parametry hlíny jako stavebního materiálu | 39 |

| | |
|--|----|
| 5.5.1 Tepelná vodivost, vlhkost vzduchu a povrchové teploty..... | 39 |
| 5.5.2 Kvalita vnitřního prostředí s použitím hliněných materiálů | 40 |
| 5.5.3 Relativní vnitřní vlhkost a hliněné omítky | 40 |
| 5.5.4. Vliv větrání | 41 |
| 5.5.5 Vliv hlíny na regulaci vlhkosti..... | 41 |
| 6. CÍLE..... | 42 |
| 7. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VYBRANÉ OMÍTKY | 44 |
| 7.1 Omítky PICAS | 44 |
| 7.2 Výroba vzorků | 45 |
| 7.3 MĚŘENÍ..... | 52 |
| 7.3.1 ISOMET 2104..... | 52 |
| 7.4 Výsledky měření | 54 |
| 8. TEPLITNĚ VLHKOSTNÍ PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ..... | 56 |
| 8.1 Studium koncentrace CO ₂ | 57 |
| 8.2 Průběh relativní vlhkosti v místnosti | 58 |
| 8.2.1 Pondělí, 26. 12. 2015 | 60 |
| 9. SOFTWARE SIMULACE | 62 |
| 9.1 Hodnoty potřebné pro zadávání..... | 63 |
| 9.2 Zděná konstrukce | 66 |
| 9.3 Dřevostavba s hliněnými omítkami | 68 |
| 9.4 Stěna z tvárnic Porotherm s hliněnými omítkami..... | 70 |
| 9.5 Výsledky SIMULACE..... | 70 |
| 9.6 Porovnání výsledků při změně intenzity větrání..... | 72 |
| 9.6.1 Porovnání výsledků při změně intenzity větrání..... | 74 |

| | |
|--|----|
| 9.7 Porovnání výsledků pro 21. srpen, dle ČSN..... | 75 |
| 10. ZÁVĚR | 77 |
| Seznam použitých zdrojů..... | 79 |
| Seznam použitých zkratek a symbolů..... | 82 |

1. ÚVOD

Člověk a bydlení, tyto dvě věci k sobě patří už od pradávna. V celé historii lidstva se nemění fakt, že člověk chce bydlet v co nejpříjemnějším prostředí. Co se však postupem času mění, jsou prostředky, jakými lze tohoto příjemného stavu dosáhnout. Velmi důležitým prvkem souvisejícím s touto otázkou je materiál. Tedy otázka: Z čeho stavět? Když lidé začínali stavět své příbytky, používali k tomu pouze přírodní materiály, postupem času se naučili vyrábět i materiály umělé a s jejich pomocí stavěli domy se stále příznivějšími vlastnostmi. V poslední době se ale stále častěji skloňuje otázka ekologie, která lidstvo obrací ke „znovuobjevení“ přírodních materiálů.

Jedním z těchto materiálů se zabývá i tato diplomová práce. Tímto materiálem je hlína, v této práci konkrétně hliněné omítky. Budu se zabývat tématem stability vnitřního prostředí s hliněnými omítkami použitými v interiéru. Toto ekologické téma jsem si vybrala, jelikož si myslím, že je v životě důležité kooperovat jak s ostatními lidmi, tak i s přírodou. Myslet ekologicky znamená myslet na budoucnost. Jinými slovy, neruinit planetu nadbytečnými chemickými procesy, žít více v souladu s přírodou a tím ji chránit pro další generace.

Práce bude zaměřena na rodinné domy a bytovou stavbu. V první fázi se budu věnovat studiu závislosti tepelné vodivosti hliněné omítky a parametrů vzduchu v interiéru budov (teploty a absolutní vlhkosti). Budu také sledovat parametry vnitřního prostředí v závislosti na větrání místnosti, zejména jak se mění objem CO_2 a zda jsou dodrženy normové požadavky. Ve třetím experimentu budu simulovat vnitřní prostředí jedné referenční místnosti, nejprve s klasickou zděnou obvodovou konstrukcí, a poté s konstrukcí klasické dřevostavby, v obou případech s hliněnou omítkou na vnitřní straně.

2. BUDOVY A VÝBĚR MATERIÁLU

Přirozeným postupem při výběru materiálu pro stavbu bylo a vždy bude místo, kde se budova má nacházet. Jedním aspektem je dostupnost materiálu. V zemích, kde je snadné těžít kameny, si lidé stavěli domy kamenné, a naopak v zemích s velkým procentem zalesnění lidé spíše volili jako hlavní stavební materiál dřevo. Tento aspekt na celou otázku o výběru materiálu ve své podstatě přetrvává i do doby moderní, nýbrž pokroky, kterými lidstvo prochází, umožňují zabývat se také dalšími otázkami spjatými s výběrem materiálu a tím si dovolit používat i materiály dovezené. Ovšem budeme-li se bavit o ekologických dopadech, právě složka transportu materiálu stavebnictví hodně ovlivňuje z negativní stránky věci. A to je důvod, proč se lidé i nadále snaží se naučit, jak nejlépe využívat zdroje, které mají k dispozici a zároveň neničit životní prostředí, které je tu k využití bohužel jen jedno jediné.

Druhým hlediskem, úzce spjatým s tím prvním, čímž je místo stavby, je převládající počasí, potažmo klima, ve kterém budova bude stát. Podle klimatu se musí zvolit vhodný materiál, typ konstrukce a ostatní technická zařízení. Zjednodušeně řečeno, například v oblastech s vysokými teplotami se počítá, že budova bude mít klimatizační jednotky, naopak v oblastech s nízkými teplotami, lidé budou muset více topit. To vše, pro dosažení onoho příjemného vnitřního prostředí.

Jak jsem již nastínila, pokrok směřuje k ekologickému myšlení a tím k používání obnovitelných, bezemisních, přírodních zdrojů. Hliněné omítky jsou v tomto ohledu krásným příkladem. Splňují všechny požadavky na ekologii, ovšem panuje zde i nadále strach z toho „že to vypadá jak bydlení v pravěku“. Naštěstí existují budovy, které tento názor již vyvrací a je na nich krásně vidět, že hlína se hodí i do moderního stavitelství.

Pěkný příklad toho, jak může vypadat moderní bydlení za použití hliněných omítek je zachycen na obrázcích 1 a 2.



Obrázek 1 – Ukázka ekologického domu v Kalifornii (dřevostavba, hliněné omítky) [1]



*Obrázek 2 – Ukázka použití hliněných omítek v interiéru v rodinném domě v Coloradu.
[2]*

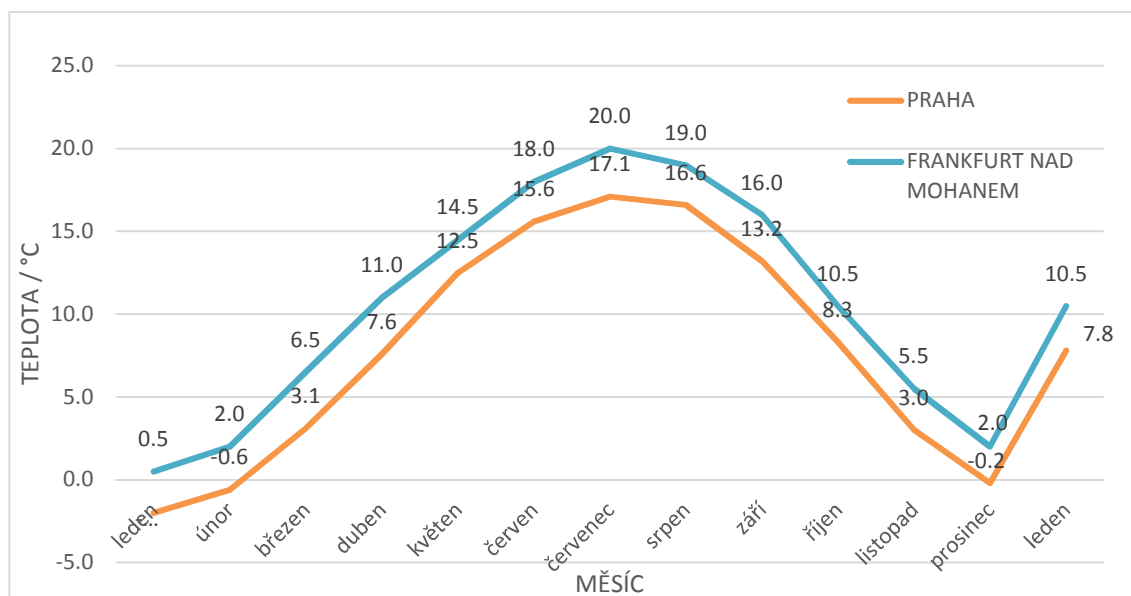
3. KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR

V České republice převládá přechodné mírné klima s vlivy oceánského i kontinentálního podnebí, přičemž kontinentální vlivy převažují. Záleží především na nadmořské výšce a členitosti území. V Česku největší územní podíl (nad 80%) zaujímají pahorkatiny a vrchoviny (s výškou 30–300 m n. m.). Nad 300 m. n. m. leží více než desetina území České republiky. [3] Podnebí se vyznačuje střídáním čtyř ročních dob, charakteristické je západní proudění s častějším střídáním frontálních systémů a s poměrně hojnými srážkami. Nejvíce srážek spadne v letních měsících, a to v červnu a v červenci a nejméně naopak v zimních, v lednu nebo v únoru. [4]

Porovnala jsem ohledně průměrných teplot české a německé průměrné teploty. Pro Českou republiku jsem vybrala hlavní město Prahu a v Německu jsem vybrala Frankfurt nad Mohanem, který také leží na padesátém stupni severní šířky, jako Praha. Praha má svůj nejnižší bod ve 177 m. n. m. Frankfurt leží o něco níže ve 112 m. n. m.

V grafu č. 1 jsou zachyceny průměrné teploty v jednotlivých měsících pro obě města. Můžeme zde vidět, že ačkoli jsou města od sebe vzdálená vzdušnou čarou jen okolo 500 km, má západněji položený Frankfurt, po celý rok průměrné teploty vyšší než průměrné teploty v Praze. Rozdíl činí cca 3°C.

V Německu přitom obecně panuje také přechodné mírné klima jako v České republice s kontinentálním i oceánským podnebím. Na rozdíl od Česka ovšem s převládajícími vlivy oceánskými. Podnebí je zde ve velké míře ovlivněno Golským proudem, díky čemuž jsou zde průměrné teploty vyšší než v České republice.



Graf č. 1 - Průměrné teploty v Praze a ve Frankfurtu nad Mohanem v průběhu roku

3.1 Vnitřní prostředí

Extrémní maximální a minimální teploty jsou v České republice definovány jako nejvyšší a nejnižší teplota v intervalu od 21:00 středního místního slunečního času včera do 21 hodin středního místního slunečního času dnes. [5] Díky statistikám sledujícím teploty a relativní vlhkosti po hodinách, je možné sledovat klimatický rok a podle zjištěných údajů potom přizpůsobovat stavební konstrukce a technická zařízení pro dosažení nejlepších výsledků ohledně stability vnitřního prostředí a zajištění tepelné pohody. Kromě teploty a vlhkosti vzduchu určují kvalitu vnitřního prostředí ještě rychlost proudění vnitřního vzduchu, intenzita osvětlení a dále například hluk, koncentrace CO₂ nebo prašnost.

Existují požadavky na vnitřní prostředí budov, které je nutné plnit ze zákona. K tomuto účelu se nevyužívá pouze jeden zákon, ale je nutné postupovat podle vícero norem a vyhlášek, například podle účelu stavby. Mezi takové normy patří například ČSN 730540-1 až 4 Tepelná ochrana budov, ČSN 730542 - Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov nebo ČSN EN ISO 13788 Tepelně

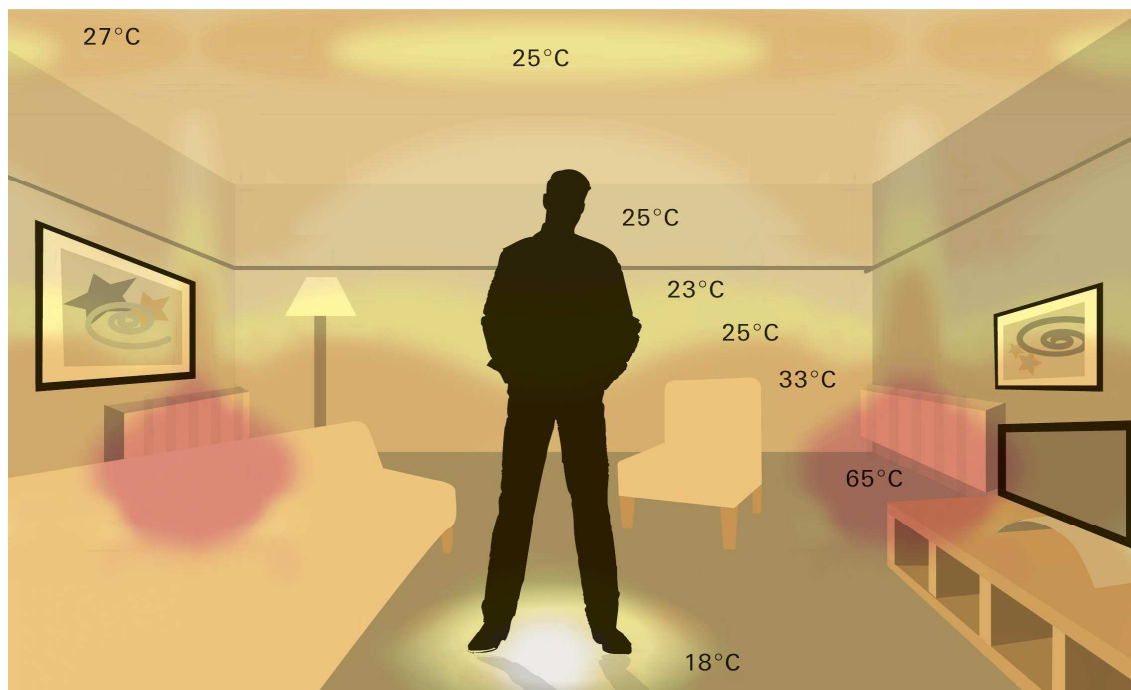
vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků. Dále je zde například vyhláška č. 230/2015 Sb. o energetické náročnosti budov, nebo vyhláška č. 20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby.

3.1.1 Tepelná pohoda a kvalita vnitřního prostředí

Tepelnou pohodu jakožto technický termín, je obtížné jasně nadefinovat, neboť každý z nás tento stav chápe trochu jinak, individuálně. I přesto se snažíme ji v objektu nastolit. Každý pociťuje pohodu za jiných tepelných podmínek. Popisuje se jako příjemný pocit, tedy pocit, při kterém se člověk cítí komfortně a také mu umožňuje optimální pracovní výkon. Předpokládá se, že tento stav nastane, pokud je tok tepla mezi prostředím a lidským tělem vyrovnaný. Je to stav, kdy tělo nepotřebuje použít termoregulační procesy pro vyrovnaní teplot, jako třeba pocení, při přehřívání organismu, nebo naopak pocity chladu a s nimi spojené „husí kůže“.

Faktorů, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí je mnoho, přes věk, pohlaví nebo typ oblečení po druh činnosti člověka, teplotu vzduchu, rychlost proudění vzduchu, prašnost nebo přítomnost chemických látek až k relativní vlhkosti vzduchu. Důležitým faktorem pro tepelnou pohodu je také rozdíl teplot mezi prostředím ve výši hlavy a u kotníků, který by neměl překročit rozdíl 3°C. [6]

Na obrázku č. 3 můžeme vidět příklad teplotních rozdílů v rámci místnosti s klasickým vytápěním radiátory umístěnými u stěn místnosti. U tělesa je největší teplo, které ovšem směrem směřuje nahoru ke stropu a člověk z něho tak cítí jen málo. Největší chlad je ve středu místnosti u podlahy. Tento problém efektivně řeší podlahové vytápění.



Obrázek č. 3 – Teplotní gradient místnosti [7]

Kvalitu vnitřního prostředí můžeme hodně ovlivnit větráním. Větráním můžeme z interiéru odstranit velké množství látek, jejichž působení má v interiéru negativní účinky na naše zdraví. Jedná se především o syntetické látky, jako jsou barvy, laky, osvěžovače vzduchu a jiné.

Nedostatečným větráním, v kombinaci s velmi těsnými okny a nesprávnou relativní vlhkostí vzduchu se mohou v interiérech objevovat plísně, kterým je třeba se vyhnout vhodným navrhováním vrstev konstrukcí.

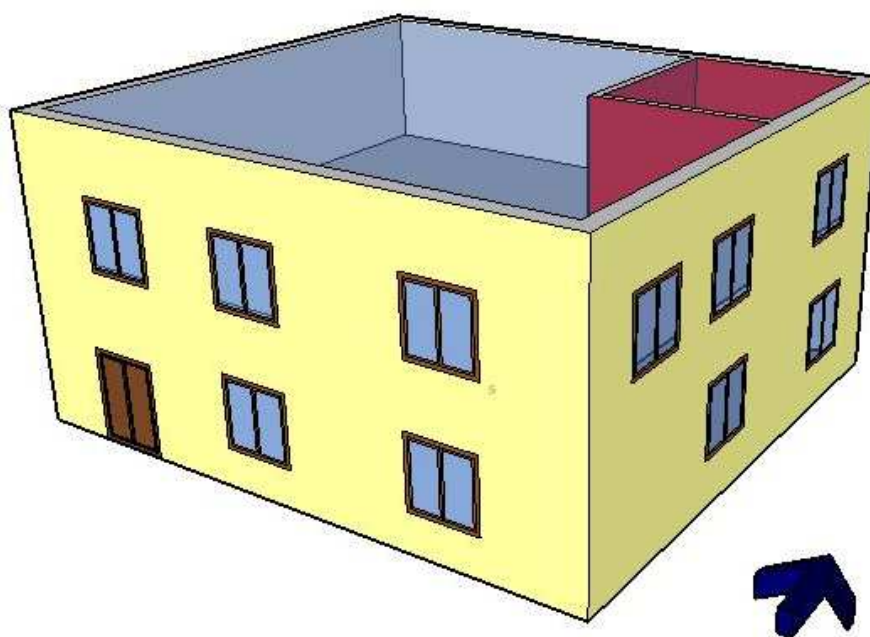
3.1.2 Tepelná stabilita místnosti v zimním období

Při výpočtu tepelné stability místnosti v zimě se zkoumá průběh chladnutí místnosti v době otopné přestávky. Předpokládá se tedy nulový výkon zdroje tepla, konstantní výpočtová teplota v exteriéru a v čase se měnící teplota v interiéru. Výpočet má smysl, pokud se v objektu počítá s přerušovaným režimem vytápění nebo pro analýzu situací jakou je třeba havárie otopného systému. Hodnotí se tedy maximální možná doba

přerušení vytápění, za současného splnění požadavků na minimální přípustnou teplotu v interiéru.

Pro vyhodnocení se stejně jako v případě letního období používá kritická místnost. Ta se ovšem ve většině případů liší od kritické místnosti letního období. Pro zimu se jedná o místnost, která má nejvyšší průměrnou hodnotu součinitele prostupu tepla U_m obalových konstrukcí. Bývá to místnost s největším podílem prosklených ploch, nebo s největší plochou ochlazovaných konstrukcí. Většinou se jedná o rohovou místnost umístěnou v posledním podlaží budovy. Dále se doporučuje prověřit i ostatní místnosti, u kterých se průměrný součinitel prostupu tepla U_m neliší o více než $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$. [8]

Na obrázku č. 4 můžeme vidět schéma rodinného objektu a místnost, která většinou bývá označována za kritickou místnost v zimě. Šipka ukazuje na sever.

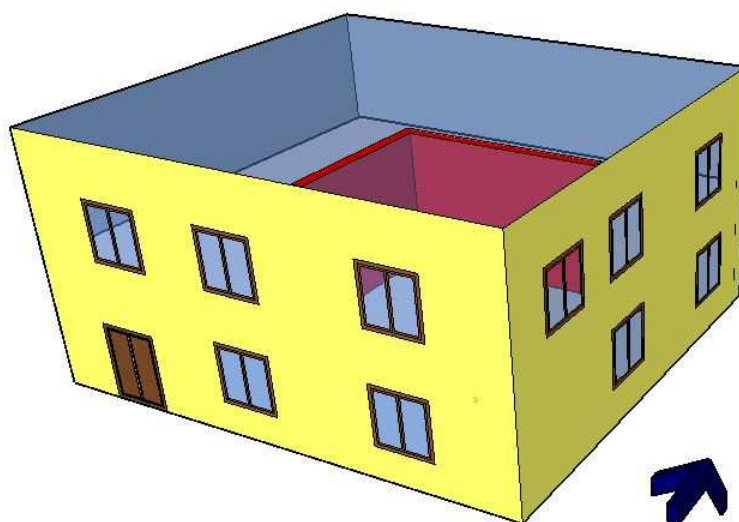


Obrázek č. 4 - Schéma umístění obvyklé kritické místnosti v létě

3.1.3 Tepelná stabilita místnosti v letním období

Tepelnou stabilitu místnosti v letním období má stále větší význam posuzovat, a to především díky narůstajícímu trendu navrhování velkoplošných oken. Díky velkým proskleným plochám totiž narůstá riziko přehřátí interiéru, podobně jako se děje ve skleníku. Protože použití strojního chlazení spotřebovává výrazně hodně energie, a je tudíž neekologické a neekonomické, je potřeba navrhovat budovy tak, aby splňovaly požadavky na tepelnou stabilitu bez nutnosti použití strojního chlazení. Je zde ovšem druhý, protichůdný požadavek, a to je snaha o co nejvyšší solární zisky v zimním období. Letní stabilita je poté řešena vhodnými stavebně konstrukčními úpravami. [8] Další variantou řešení letní tepelné stability jsou úpravy strojní, tedy instalování vhodných klimatizací.

Pro potřeby výpočtu se opět používá tzv. kritická místnost. Je to místnost v objektu, u které předpokládáme největší tepelnou zátěž. Obvykle se jedná o místnost, která má největší podíl přímo osluněných prosklených ploch vzhledem k podlahové ploše místnosti a je orientována směrem k východní, dále k jižní, a nakonec k západní světové straně. Na obrázku č. 5 je schéma, kde se taková místnost obvykle nachází. Šipka ukazuje na sever.



Obrázek č. 5 - Schéma umístění obvyklé kritické místnosti v létě

V souladu s normou ČSN 730540-2:2011 se pro hodnocení používá nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $F_{ai,max}$. Nejvyšší přípustné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tabulka č.1: Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období $F_{ai,max,N}$.

| Druh budovy | | Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $F_{ai,max,N}$ |
|--|---------------------------------|---|
| Nevýrobní ¹⁾ | | 27,0 |
| Ostatní s vnitřním zdrojem tepla | - do 25 W/m ³ včetně | 29,5 |
| | - nad 25 W/m ³ | 31,5 |
| ¹⁾ U obytných budov je možné připustit překročení požadované hodnoty nejvíce o 2 °C na souvislou dobu nejvíce 2 hodin během normového dne, pokud s tím investor (stavebník, uživatel) souhlasí. | | |

V normě ČSN 730540-2, v článku 8.23 je stanovena maximální povolená nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období v objektu s použitím strojního chlazení $F_{ai,max,N} \leq 32^{\circ}\text{C}$.

Strojní chlazení neboli klimatizace jsou v dnešní době již zaběhlým doplňkem domácnosti, nicméně není úplně žádoucím doplňkem. Ideálním stavem je, když budova, respektive její konstrukce, plnila své funkce tak, aby bylo dosaženo správného vnitřního mikroklimatu bez strojního chlazení. Výběr klimatizační jednotky se řídí různými nároky, počínaje vzhledem, přes cenu, výkon, spotřebu elektrické energie až po výběr klimatizace s vícero funkcemi, jako jsou různé časovače, nebo třeba nastavitelné lamely.

Jako příklad zde uvádím obrázky klimatizací LG.



Obrázek 6 – Klimatizační jednotky firmy LG a jejich umístění [9] [10] [11]

3.2 Výměna vzduchu v místnosti

Velmi důležité pro stabilitu vnitřního prostředí je větrání. Správným větráním člověk přispívá zejména ke zdravému mikroklimatu interiéru. Existují dva způsoby větrání, každý z nich má svoje klady a zápory. Větrání může být přirozené, otevřenými okny anebo nucené, pomocí strojní techniky.

Obecné požadavky na výměnu vzduchu v místnosti vychází z tzv. Pettenkoferova kritéria. Měřením dokázal, že množství CO_2 ve vzduchu závisí na aktivitě člověka a že dospělý člověk v klidu v bdělém stavu vyprodukuje cca 16-20 l CO_2 za hodinu. Stanovil maximální přípustné množství CO_2 v místnosti na 1000 ppm což je 0,1 % koncentrace v místnosti. [12]

Z toho vyplívají požadavky vyhlášky č. 20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby na 25 m³ čerstvého vzduchu na osobu nebo minimální výměna vzduchu $n = 0,5$ za hodinu.

3.2.1 Větrání v zimním období

Přirozené větrání v zimním období přináší zejména negativa. Největším záporným aspektem je rychlé přivádění velmi chladného vzduchu do interiéru místnosti a tím k velkým tepelným ztrátám, což je v rozporu s požadavky na co nejmenší energetickou zátěž budovy. Dále v interiéru dochází ke zvyšování vlhkosti, což může vést ke kondenzaci a jako následek k plísním na zdech, které jsou velmi nežádoucí ze zdravotního hlediska.

3.2.2 Větrání v letním období

V letním období je velmi výhodné používat nucené větrání, jelikož přirozené větrání není vůbec efektivní, a to v důsledku malých venkovních a vnitřních teplotních rozdílů. Technologie nuceného větrání se zabývá jak ochlazováním vnitřního vzduchu, tak zpětným získáváním tepla z odváděného vzduchu, pokud je potřeba.

V souvislosti s větráním v letním období je vhodné mít rekuperační jednotku s funkcí by-pass, která slouží k obtoku vzduchu odváděného z domu mimo výměník, tím nedochází k předání tepla vzduchu přiváděnému a také opět dochází k šetření energií na běh rekuperační jednotky. Tuto funkci je vhodné zapínat přes noc v letních měsících a tím si přivést do domu chladný vzduch a šetřit elektrické energie na běh výměníku a tím také peníze.

V normě ČSN 730502-2, udává příloha v tabulce H.9 požadovanou frekvenci výměny vzduchu v místnosti v letním období.

Tabulka č.2: Výměna vzduchu v místnosti v letním období dle ČSN 730502-2

| Okna jen na jedné straně fasády | |
|---|---|
| Výměna vzduchu v místnosti n (h^{-1}) | Způsob větrání okny v celodenním průběhu ¹⁾ |
| 1,5 po celý den | Okna otevřena trvale ve dne i v noci z 50 % |
| 0,5 přes den a 2,5 přes noc | Okna jsou otevřena přes noc z 50 % a z 10 % přes den (otevřené ventilační křídlo) |
| Okna proti sobě, na protilehlých stranách fasády (příčné větrání) | |
| 4,0 po celý den | Okna otevřena trvale ve dne i v noci z 50 % |
| 2,0 přes den a 7,5 přes noc | Okna jsou otevřena přes noc z 50 % a z 10 % přes den (otevřené ventilační křídlo) |
| ¹⁾ Noc se uvažuje od 21 hodin do 9 hodin včetně | |

3.2.3 Výpočet výměny vzduchu malého pokoje

Pro lepší představu četnosti výměny vzduchu zde uvedu příklad větrání mé jedné malé místnosti.

Místnost má rozměry 2,6 x 4,2 m a výšku 3,3 m. Objem místnosti je tedy 36,04 m³. Okno má rozměry 105 x 150 cm. Předpokládejme úhel jeho otevření 15°.

Podle vzorce pro výpočet průtoku vzduchu otevřeným oknem:

$$V_p = \mu \cdot b \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \rho_e \cdot \rho_i \cdot h^3 \cdot (\rho_e - \rho_i)}{(\sqrt[3]{\rho_i} + \sqrt[3]{\rho_e})^3}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Kde:

b.... je šířka okna [m]

h.... je výška okna [m]

μ je výtokový součinitel [-]

ρ hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hustotu vzduchu venkovního a vnitřního vypočítáme pomocí rovnice:

$$\rho = \frac{1,276}{1 + 0,00366 \cdot t} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Kde:

t.... je teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

V tomto případě vezmeme teplotu venkovního vzduchu 5°C jako průměrnou teplotu pro listopad v roce 2016 a návrhovou teplotu vnitřního vzduchu 21°C .

Pro tento případ vychází při otevřeném okně pod úhlem 15° výměna vzduchu $V_p = 1148,18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Což odpovídá výměně vzduchu v této místnosti $n = 31,86 \text{ h}^{-1}$.

podle vzorce:

$$n = V / O \quad [\text{h}^{-1}]$$

Kde:

V... je průtok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

O... je objem vzduchu v místnosti [m^3]

Výsledek odpovídá požadavkům vyhlášky č. 20/2012 Sb.

Předpokládejme, že pokud je zima, okno není otevřené celý den, maximálně tak 5 až 10 minut. Za 10 minut otevřeného okna dojde k výměně $191,36 \text{ m}^3$ vzduchu, po dobu 5 minut je to potom $95,68 \text{ m}^3$. Co se týče výměny vzduchu z hlediska hygienických požadavků, nedochází zde k žádným problémům. Může docházet spíše k problémům ekonomickým, jelikož při vpouštění studeného vzduchu do interiéru potom člověk více topí, aby mu nebyla zima. Další problém by mohl nastat z hlediska výskytu plísní, jelikož zimní vzduch je studený, ochlazuje stěny a na nich potom z důvodu vyšší vlhkosti v interiéru plísně vznikají. Z tohoto důvodu je výhodnější větrat jen v krátkých intervalech, aby stěny natolik nevychladly. Potom ovšem opět začíná být problém s dostatečnou výměnou vzduchu z hlediska koncentrace CO_2 .

Vyzkoušela jsem výpočet také pro letní období, ve kterém rozdíl teplot není tak velký. Pro letní období jsem zvolila vnitřní teplotu opět návrhovou 21°C a venkovní teplotu 20°C . Pro tyto hodnoty vychází průtok vzduchu $V_p = 283,43 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a výměna vzduchu $n = 7,86 \text{ h}^{-1}$. Pokud člověk otevře okno jen na 10 minut, objem čerstvého vzduchu je $47,24 \text{ m}^3$. Při teplotách stejných uvnitř i venku logicky nedochází k výměně vzduchu zcela žádné.

3.3. Stavební úpravy zlepšující tepelnou stabilitu

K zajištění tepelné stability může přispět také návrh vhodných konstrukčních řešení. Existují úpravy, které mají protichůdné následky v různých ročních obdobích. V létě je vhodnější navrhování přesahů střešních konstrukcí, a dále balkonových či lodžiových desek, markýz a podobně. V zimním období je naopak solární infiltrace vítána.

Při návrhu konstrukcí je důležité mít na paměti orientaci ke světovým stranám a s tím spojenou rozdílnou účinnost v různých obdobích v závislosti na rozdílné výšce Slunce nad horizontem. A dále brát v úvahu požadavky na zajištění potřebné úrovně intenzity osvětlení interiéru. [8] V létě je například vhodné navrhování clonících žaluzií, rolet či

slunolamů, která umožňují nastavitelnost lamel a které je nejlepší umístit do exteriéru a zabránit tak slunečnímu záření dopadat na skleněné plochy. [13]

Mezi konstrukční řešení přínosná pro obě roční období patří například navrhování akumulčních vnitřních dělicích konstrukcí (i stropních) z materiálů s vysokou objemovou hmotností nebo návrh akumulční vrstvy v obalové konstrukci co nejbližší k interiéru. [8]

Hlavním problémem pro obě roční období jsou výplně otvorů. Rozhodujícím prvkem je zasklívací jednotka, přičemž další roli sehrává i kvalitní návrh okenních rámců a také způsob osazení okna.

Stavební opatření pomáhající zajišťovat tepelnou stabilitu v zimě:

- Návrh kvalitních zasklení a rámců oken, správný způsob osazení okna
- Vytvoření akumulčních jader uvnitř dispozice budovy
- Příčky a stropní konstrukce navrhovat jako masivní
- Co nejlepší návrh obalových konstrukcí budovy z hlediska tepelněizolačního

Stavební opatření pomáhající zajišťovat tepelnou stabilitu v létě:

- Návrh přesahů střešních konstrukcí
- Návrh balkonových a lodžiových desek
- Návrh markýz, žaluzií, rolet a dalších clonících konstrukcí
- Dvouplášťové obalové konstrukce
- Návrh akumulčních jader
- Vhodné barevné provedení
- Návrh vhodných materiálů s vysokou schopností akumulace tepla a vlhkosti – jakým je například hlína

4. STAVEBNICTVÍ V ČÍSLECH V ČR

Podrobněji jsou zde rozebrány zejména dva poslední roky, tedy 2014 a 2015. Dále jsou dostupná i některá data pro roky předcházející, a to od roku 2010 pro lepší představu vývoje českého stavebnictví. V souvislosti s diplomovou prací jsou ovšem nejzajímavější data rozdělení počtu bytů podle způsobu vytápění, která jsou v době psaní diplomové práce dostupná nejaktuálněji pouze do roku 2013.

Celkový výkon českého stavebnictví se v roce 2014 poprvé po několika letech zlepšil a stavební produkce na poli pozemního stavitelství meziročně vzrostla o 3,4 %. V roce 2015 růst pokračoval a stavební produkce pozemního stavitelství meziročně vzrostla opět o 3,4 %. Pro informaci, ještě v roce 2013 tato produkce zaznamenala pokles o 5,6 %. [14]

4.1. Trend od roku 2010 do 2013

V další tabulce jsou počty vydaných stavebních povolení od roku 2010 do roku 2013.

Tabulka č. 4: Počet vydaných stavebních povolení 2010-2013

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Bytové budovy | 39 158 | 39 656 | 34 006 | 29 475 |
| - Nová výstavba | 15 553 | 15 853 | 13 339 | 11 880 |
| - Změna dokončených staveb | 23 605 | 23 803 | 20 667 | 17 595 |

4.2. Byty v ČR rozdělené podle způsobu vytápění

Pro potřeby diplomové práce jsou nejzajímavější čísla týkající se tepelně-technických vlastností. V následující tabulce je rozdělení počtu staveb v roce 2013 podle způsobu vytápění. Novější data aktuálně nejsou dostupná.

Tabulka č. 5: Počet bytů rozdělených podle způsobu vytápění v roce 2010–2013.

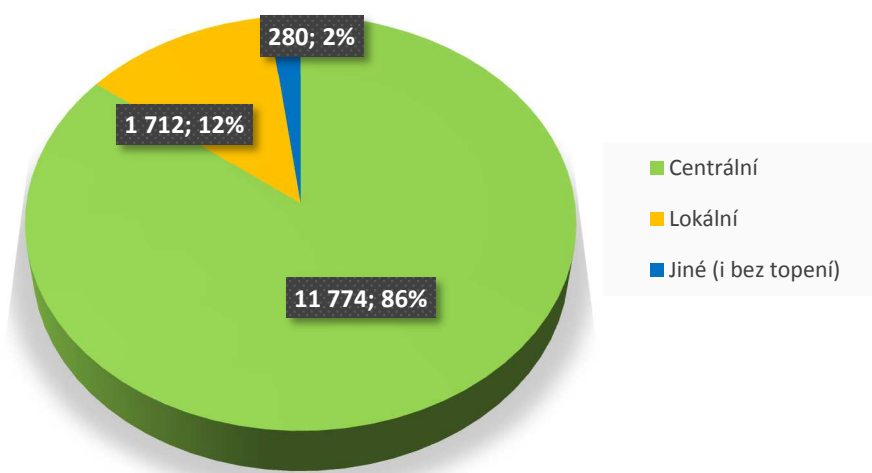
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| BYTOVÁ VÝSTAVBA | | | | |
| Počet domů celkem | 556 | 430 | 298 | 244 |
| Centrální | 427 | 356 | 242 | 200 |
| Lokální | 117 | 74 | 56 | 44 |
| Jiné (i bez topení) | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Počet bytů celkem | 13 766 | 10 912 | 6 487 | 6 049 |
| Centrální | 11 774 | 9 968 | 5 813 | 5491 |
| Lokální | 1 712 | 944 | 674 | 558 |
| Jiné (i bez topení) | 280 | 0 | 0 | 0 |
| RODINNÉ DOMY | | | | |
| Počet domů celkem | 18 346 | 19 122 | 16 849 | 15 013 |
| Centrální | 16 766 | 17 919 | 15 676 | 14 144 |
| Lokální | 1 081 | 1 203 | 1 166 | 868 |
| Jiné (i bez topení) | 499 | 0 | 7 | 1 |
| Počet bytů celkem | 19 124 | 19 760 | 17 385 | 15 469 |
| Centrální | 17 444 | 18 504 | 16 144 | 14 527 |
| Lokální | 1 170 | 1 256 | 1 234 | 941 |
| Jiné (i bez topení) | 510 | 0 | 7 | 1 |

Pro lepší porovnání jsem vytvořila koláčové grafy počtu bytů v bytové výstavbě a i v rodinných domech rozdělených podle způsobu vytápění. Jsou zde porovnány roky 2010 a 2013 pro obě kategorie.

Na grafu č. 2 jsou vyobrazeny počty bytů v bytové výstavbě z roku 2010 a v grafu č. 3 je zobrazen rok 2013. Takto je možné sledovat postupný pokles bytové výstavby o zhruba polovinu celkového počtu.

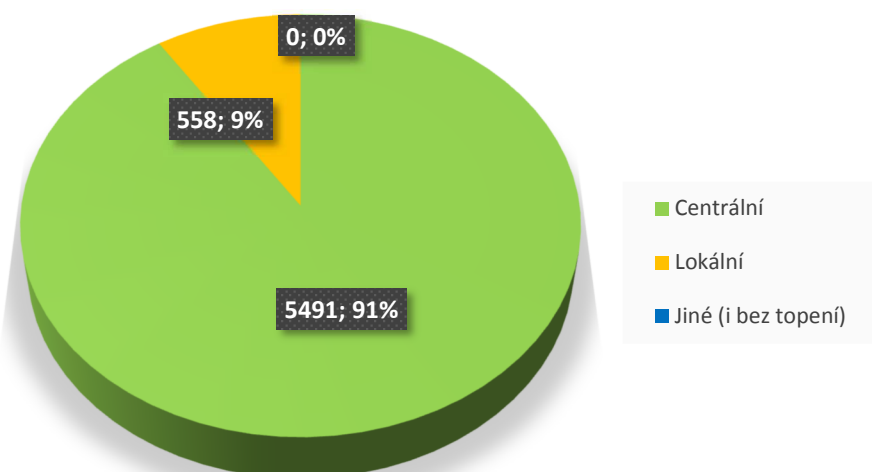
Stejný trend je vidět u výstavby rodinných domů, tedy klesající. Oproti bytové výstavbě ovšem nešlo o tak velký rozdíl. Zajímavostí je, že v roce 2010 bylo postaveno 510 bytů v rodinných domech s jiným způsobem vytápění než s centrálním nebo lokálním, ale v roce 2013 je zde uveden pouze 1 takový případ. Počty bytů v rodinných domech rozdělených podle způsobu vytápění v roce 2010 a 2013 můžeme vidět v grafech č. 4 a č. 5.

Bytová výstavba - počet bytů v roce 2010



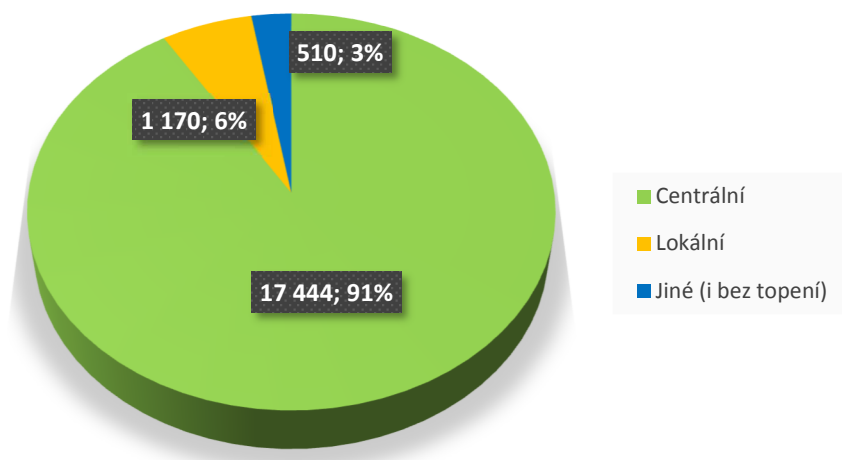
Graf č. 2 – Rozdělení bytů podle způsobu vytápění v roce 2010

Bytová výstavba - počet bytů v roce 2013



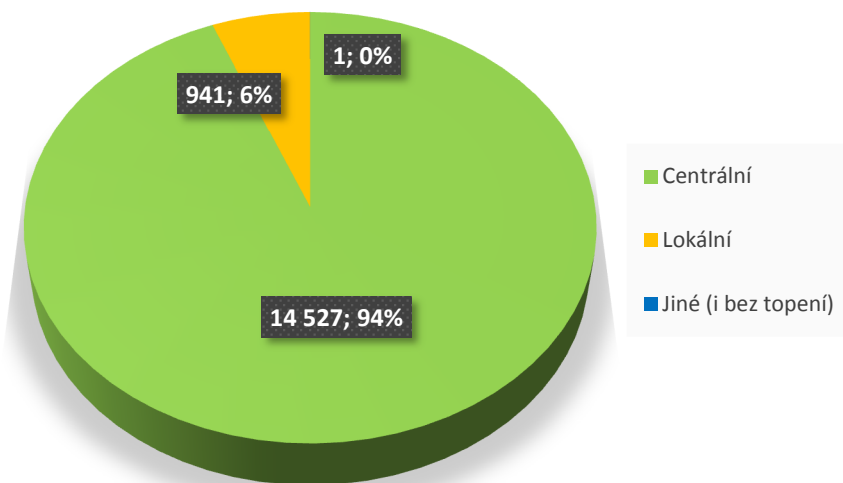
Graf č. 3 – Rozdělení bytů podle způsobu vytápění v roce 2013

Rodinné domy - počet bytů v roce 2010



Graf č. 4 – Rozdělení bytů v RD podle způsobu vytápění v roce 2010

Rodinné domy - počet bytů v roce 2013



Graf č. 5 – Rozdělení bytů v RD podle způsobu vytápění v roce 2013

4.3. Roky 2014 a 2015

Stavební úřady v roce 2014 vydaly 79 357 stavebních povolení, přičemž jejich počet meziročně klesl o 6,5 %. V roce 2015 došlo k meziročnímu růstu o 1,4 %. Stavební úřady vydaly stavebních povolení 80 478. Dále bylo v roce 2015 dokončeno 25 095 nových bytů, což představuje meziroční nárůst o 4,8 %, což dokazuje, že příznivý trend i nadále pokračuje. Všechna čísla se také porovnávají s rokem 2008, který byl ekonomicky velmi silným. Oproti tomuto roku došlo v roce 2015 k poklesu počtu bytů zahájených v rodinných domech o celých 45 %. Jako další příklad zde uvedu srovnání roku 2014, kdy byla dokončena výstavba 23 954 bytů, což je v meziročním srovnání pokles o 5,1 % a oproti roku 2007, který byl nejúspěšnější je to dokonce pokles o 42 %.

[15]

5. VYUŽITÍ HLÍNY PRO STAVEBNÍ MATERIÁLY

Podle dochované zástavby se soudí, že hlína jako stavební materiál byla používána už před tisíci lety. Nejčastější výskyt staveb z hlíny leží na územích, kde se vyskytuje hlína s vhodnými vlastnostmi pro stavění. Často je to v místech, kde se dařilo také hrnčířství.

Obecně se má za to, že hlavním stavebním prvkem na prvopočátku stavebnictví byl kámen. Různá naleziště, ale dokazují, že jako hlavní stavební materiál nebyl užíván jen kámen, ale právě hlína. Například na území Ruska byly nalezeny pozůstatky hliněných domů z období 8000-6000 př. n. l., také Velká čínská zeď, stará přibližně 4000 let byla původně vystavena z udusané hlíny a až později byla obložena kameny a cihlami. Z dochovaných budov je patrné, že hlína jako stavební materiál zaručuje dlouhou trvanlivost budov, to ale není jediné pozitivum tohoto materiálu.

Prvopočátky stavebnictví na našem území jsou též úzce spjaty právě s hlínou, slámou a kamenem, jak dokazují staré chalupy a budovy. Ovšem začátkem 20. století začala růst obliba nových stavebních materiálů jako je cement a přírodní stavební materiál jako je hlína byl téměř zapomenut.

5.1. Vlastnosti hlíny

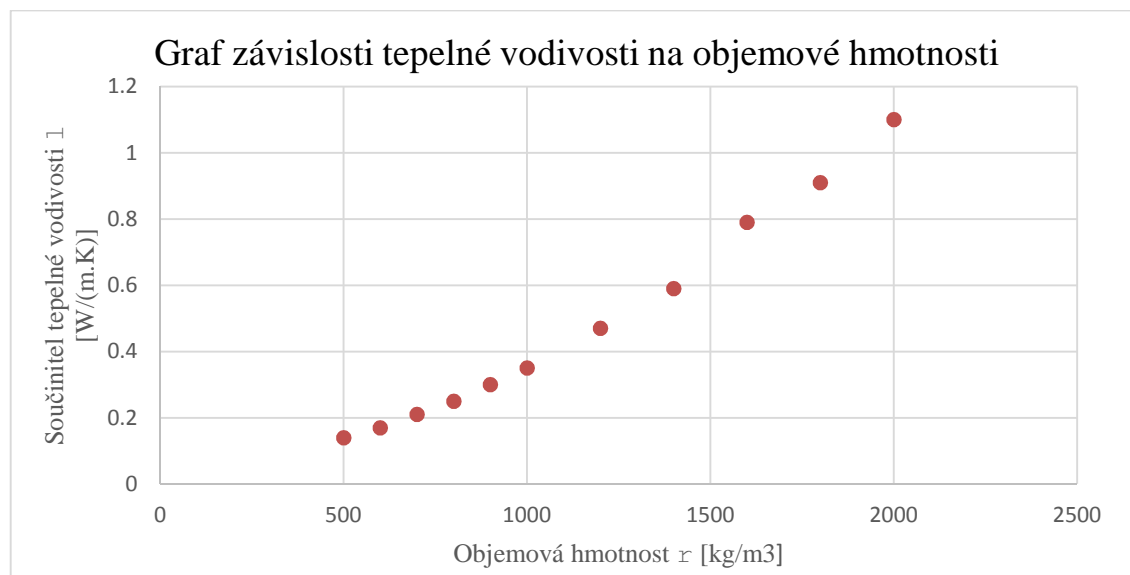
Objemová hmotnost hlíny je zhruba okolo $\rho = 1600$ až 2000 kg/m^3 . Často se do hlíny přidávají lehčiva, tím se objemová hmotnost může snížit až na 1000 kg/m^3 . Pevnosti v tlaku hliněných cihel se pohybují mezi $f = 3$ až 10 MPa , u hliněných omítek je to pak $f = 1$ až $1,5 \text{ MPa}$. Pevnosti v tahu jsou až pětikrát nižší.

Tepelná vodivost souvisí například s vlhkostí hlíny nebo také s objemovou hmotností, v následující tabulce jsou popsány její hodnoty podle ČSN 73 0540-3:2005, je zde uvedena také návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita v suchém stavu a normová hodnota difúzního odporu. [16]

Tabulka č. 6: Fyzikální vlastnosti hlíny podle ČSN 73 0540-3:2005

| Název | Objemová hmotnost ρ_{dn} [kg/m ³] | Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_k [W/(m.K)] | Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_u [W/(m.K)] | Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn} [J/(kg.K)] | Normová hodnota faktoru difúzního odporu μ_n |
|--|--|--|--|---|--|
| Rostlá půda písčitá a hlinitopísčitá vlhká | 2000 | - | 2,30 | 920 | 2,0 |
| Rostlá půda písčitá a hlinitopísčitá s přirozenou vlhkostí | 1800 | 0,85 | 1,40 | 920 | 1,4 |
| Suchá hlína | 1600 | 0,45 | 0,70 | 750 | 1,5 |

Součinitel tepelné vodivosti také závisí na objemové hmotnosti, jak ukazuje následující graf. Z grafu je patrné, že se zvyšující se objemovou hmotností, roste také součinitel tepelné vodivosti.



Graf č. 6: Součinitelé tepelné vodivosti pro hlínu podle DIN 4108, části 4 z roku 2007

5.2. Dostupné hliněné výrobky

HLINĚNÉ CIHLY

Hliněné cihly jsou nepálené a jsou určeny k vyzdívání na hliněnou nebo vápennou maltu. Tyto cihly jsou v dnešní době využívány zejména při výstavbě dřevostaveb a v domech s nuceným větráním. Jsou používány nejčastěji pro stavbu nenosných vnitřních příček. Díky svým vlastnostem přispívají k teplotní stabilizaci vnitřního prostředí, ale hlavně k regulaci vlhkosti.

Postup práce je stejný jako při zdění cihlami pálenými, ale je nutné každý den postavit maximální sedm řad, cca 1 m výšky stěny. Hliněná malta pomalu vysychá, tudíž se musí čekat na její řádné zatvrdnutí, jinak by se vlivem vysokého zatížení mohla stát příčinou deformace celé stěny.

Existuje řada typů hliněných cihel, jako jsou třeba cihly plné lisované, cihly děrované nebo cihly lehčené. Lehčení pomocí slámy, konopí nebo dřevěnými štěpky se využívá hlavně při stavbě svépomocí. Pokud si člověk stavbu objednává na zakázku, většinou se používají hlíny lehčené minerálními příměsemi.

Jak může vypadat domácí výroba hliněných cihel, je možné vidět na obrázku č. 7.



Obrázek č. 7 – Ukázka hliněných nepálených cihel [17]

HLINĚNÉ PANELY

Hliněné panely jsou mezi stavebními materiály novinkou. Vyrábí se v tloušťkách od 20 do 50 mm a montují se přímo na dřevěný rošt nebo na záklop – dřevěný, nebo z OSB desek. Nejčastěji se panely vyrábí lehčené s objemovou hmotností 800–1000 kg/m³. Dají se jimi opláštit stropy, šikmé podhledy, předsazené stěny nebo z nich vytvořit příčky. Tento materiál je též využíván především v dřevostavbách a všude tam, kde se klade důraz na rychlost provedení práce. Ukázka hliněných panelů je na obrázku č. 8.



Obrázek č. 8 – Hliněný panel [18]

OSTATNÍ

Hlína bývá ve speciálních případech používána jako výplň do stropních konstrukcí, nebo podlah. Dále se rozvíjejí různé druhy střech z hlíny nebo řešení zvláštních nápadů jako je stěna ze starých pneumatik vyplněných hlínou.

OMÍTKY

Omítky z hlíny jsou v poslední době v praxi stále používanější. Základním typem dělení jsou omítky vnější a vnitřní. Vnější omítky se zatím moc moc nevyužívají, zejména v České republice, jelikož v exteriérech neumějí odolávat nepřízní počasí, tedy hlavně dešti. Nicméně omítky vnitřní jsou v moderním stavitelství stále vyhledávanější.

Omítky z hlíny jsou 100 % recyklovatelné a obyčejným rozmícháním ze zatvrdlé omítkové směsi dostáváme znovu použitelnou směs.

Omítky se také dělí na hrubé, jemné a dekorativní. Hrubé omítky se používají stejně jako vápenocementové k vyrovnání podkladu. Jejich tloušťky se pohybují okolo 15 – 45 mm a dají se nanášet na různé podklady. Jemné hliněné omítky se nanášejí na hrubé omítky, které musí být předtím dokonale proschnuté. Nanášejí se v síle od 2 do 6 mm v jedné nebo dvou vrstvách, přičemž do první vrstvy je možné zapracovat výztužnou mřížku. [19] [20]

5.3. Složení hliněných omítek

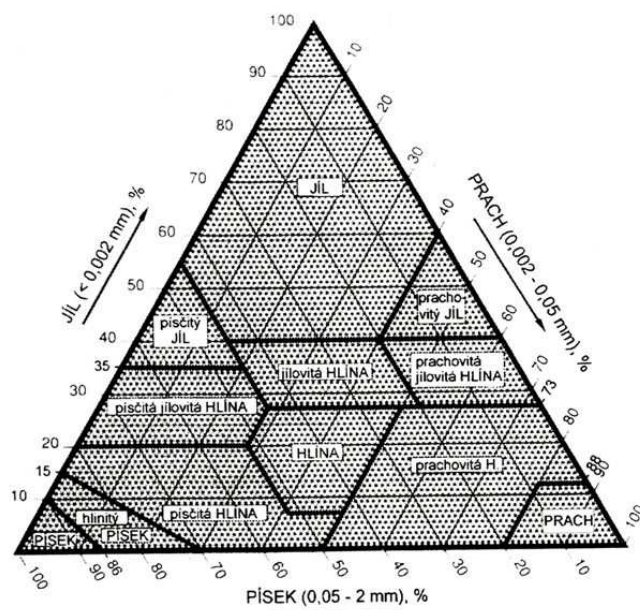
Hlína je směs jílu, prachu a písku. Může však obsahovat i hrubší částice jako jsou šterk, kameny nebo suť. Jílem se označuje složka, která má částice menší než 0,002 mm, velikost prachových částic je v rozmezí 0,002 – 0,06, písek je potom v rozmezí částic o velikosti 0,06 – 2 mm.

Hlínu vhodnou ke stavbě nenalezneme všude, záleží na lokalitě, ze které pochází. Například horské nebo svahové hlíny vznikají zvětráváním zdejší horniny, a proto obsahují její větší nebo menší úlomky. Pokud tato hlína obsahuje dostatek jílu, má tedy velmi vysokou pojivost, vysokou pevnost v tlaku a pokud neobsahuje jíl až moc, má také nižší míru smrštění. Je vhodná k dusání. Hlíny, které se vyskytují typicky ve Středoevropské nížině, jsou ledovcového původu. Často obsahují vápenec, kterému se při vysokém obsahu říká tzv. slín a ten má malé pojivové vlastnosti, a proto pro hliněné stavitelství není vhodný.

Jíl v hlíně představuje pojivo pro ostatní hrubší částice v ní obsažené, tedy je drží pohromadě. Prach, písek a šterk zde funguje jako plnivo. Podle toho, která ze složek je v hlíně nejvíce obsažena, hovoříme o jílovité, prachové nebo písčité hlíně.

Stavební hlína by určitě neměla obsahovat organickou složku rostlinného nebo živočišného původu, což je většinou půda dosahující do hloubky 40 cm. Nazývá se

humus a vzniká právě zvětráváním odumřelých těl rostlin a živočichů. Humus je kyselý, $\text{pH} < 6$.



Graf č. 7: Znárodnění obsahu jílu, prachu a písku v hlině pomocí trojúhelníkové sítě [21]

Velmi důležitým faktorem je druh jílu, a právě jeho poměr ve směsi, který by se měl pohybovat mezi 5 až 10 %. Pokud by byl jíl obsažen v malém množství, může způsobit špatnou přídržnost a pojivost omítky. Na druhou stranu, pokud by byl jeho obsah vyšší, způsoboval by tvorbu smršťovacích trhlin při vysychání. Dalšími faktory ovlivňujícími kvalitu omítky je zrnitost použitého písku, způsob zpracování a druh příměsí. Příměsí se používají organické, a to zejména konopná nebo slaměná řezanka, zvířecí srst nebo piliny. Tyto příměsí jsou používány kvůli eliminaci vzniku smršťovacích trhlin při vysychání, pokus je jejich podíl však vyšší, než by měl správně být, snižují přilnavost omítky.

Jelikož se hliněné omítky nanášejí ve více vrstvách jako chemické fasádní systémy, (tudíž podhoz, jádrová omítka a štuková omítka), nejsou drobné trhlinky v hrubé omítce nic špatného, protože zlepšují přilnavost a provázání s jemnější vrstvou, která je na povrchu a kterou jsou tím pádem rovněž trhliny zakryty.

Existuje několik doporučení, díky kterým se dá snížit riziko tvorby smršťovacích trhlin. Jedním z nich je doporučení vyššího obsahu hrubozrnného písku. Dále by se do omítky měla přidat zvířecí srst nebo lidské vlasy, také je možno použít kokosová nebo sisalová vlákna a nejhojněji se používá slaměná nebo senná řezanka. Vnitřní omítky je možno odtučnit obilnými plevami, pilinami, dřevitou moučkou nebo celulózovými vlákny. [22]

Na obrázcích č. 9 a č. 10 můžeme vidět hliněný vzorek trhlinami a bez trhlin. Problém trhlin se řeší právě různými příměsemi, jak bylo uvedeno výše.



Obrázek č. 9 – Trhliny na hliněné omítce [23]



Obrázek č. 10 – Hliněná omítka bez trhlin [23]

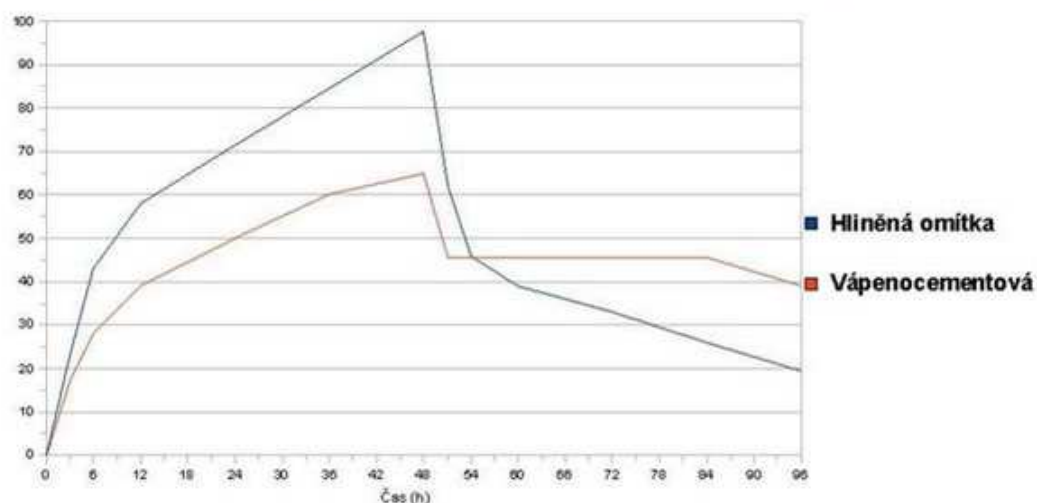
5.4. Působení vody – bobtnání a smršťování

Pokud se dostane hlína do styku s vodou, voda vniká do vrstevnaté krystalové struktury jílových minerálů a obaluje jednotlivé vrstvy vodním filmem. Jestliže však hlína absorbuje větší množství vody, ztrácí svou pevnou konzistenci a dochází k bobtnání, což je pro stavební hlínu nežádoucí jev stejně jako zmenšování objemu hlíny, při jejím vysychání. Je velmi důležité, že při absorbování vodních par k nabývání na objemu nedochází, a proto můžeme používat hliněnou omítku v interiérech i v exteriérech.

Nejvíce míru bobtnání a smršťování ovlivňuje množství obsaženého jílu. Hlavní jílové minerály jsou kaolinit, ilit a montmorillonit, který ve srovnání s předchozími dvěma minerály mění svůj objem několikanásobně víc. Při výběru vhodné hlíny musíme tedy zjistit kolik procent jílu je v hlině obsaženo.

Vysychání hlíny je rovněž velkým problémem, protože při něm dochází ke smršťování hliněného výrobku. Vysychání hliněného zdiva může vést k nežádoucímu sedání a ke tvorbě trhlin. Je doporučeno míru smrštění nejprve vyzkoušet na vzorku, protože míra smrštění může být opravdu vysoká: „Zkoušky provedené v Laboratoři pro experimentální stavitelství (FEB) na Univerzitě v Kasselu ukazují, že běžná hliněná zdicí malta vykazuje poměrně vysokou míru smrštění při vysychání, a to 1 až 3,6 %, zatímco vápenocementová malta a hotová sádrová omítka míru smrštění nižší než 0,1 %.“ [24] Přibližně by měla hliněná omítka zmenšit maximálně svůj objem o 2%, pokud omítka vykazuje smrštění vyšší, výrobce na to musí upozornit.

Na následujícím grafu můžeme vidět sorpční křivku, která znázorňuje chování hliněné omítky a vápenné omítky. Test se prováděl v klimatizační komoře při teplotě 21 °C, kde se pomocí roztoků nasycených solí zvyšovala vzdušná vlhkost ze 47 % na 76 % a po 48 hodinách došlo k jejímu opětovnému snížení na 47 % po dobu 48 hodin. Testovaly se materiály o síle 15 mm.



Graf č. 8: Sorpční křivka znázorňuje chování hliněné a vápenocementové omítky z hlediska regulace vlhkosti [19]

Z tepelně technického hlediska je vhodné navrhovat vrstvy konstrukce tak, aby voda kondenzovala mimo hliněnou část, jelikož voda hlínu rozměkčuje a snižuje se tak její pevnost. [16]

5.5. Parametry hlíny jako stavebního materiálu

V této kapitole jsou podrobněji rozebrány charakteristické vlastnosti hlíny pro její využití ve stavebnictví. Je zaměřena na ty charakteristiky, které jsou klíčové pro tepelnou stabilitu místnosti.

5.5.1 Tepelná vodivost, vlhkost vzduchu a povrchové teploty

Značka součinitele tepelné vodivosti je písmeno λ a jednotka $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$. Vyjadřuje schopnost látky vést teplo. Každý materiál má jinou tepelnou vodivost, ta je definována jako hustota tepelného toku při jednotkovém teplotním gradientu.

Vlhkost vzduchu se udává buď jako absolutní vlhkost vzduchu, nebo relativní vlhkost vzduchu. Absolutní (Φ) vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu (1 m^3) tohoto vzduchu. Je udávána v kg/m^3 . Relativní vlhkost vzduchu (ϕ) je poměr

hmotnosti vodní páry obsažené ve vzduchu ku hmotnosti vodní páry, která je nasycená, stejného objemu a teploty. Poměr je udáván v %.

Povrchové teploty nebývají problémem u správně navržených konstrukcí, které splňují veškeré ostatní požadavky, jako je například součinitel prostupu tepla. Je ale nezbytné požadavky dodržet, protože se jedná o důležitý faktor při předcházení riziku kondenzace a tím pádem i plísní. Nejvíce ohrožena jsou místa tepelných mostů. Při hodnocení splnění požadavku na nejnižší povrchové teploty se pracuje s teplotním faktorem vnitřního povrchu f_{Rsi} . Tato veličina není nijak závislá na okolním prostředí a je tedy univerzálně využitelná. [8]

5.5.2 Kvalita vnitřního prostředí s použitím hliněných materiálů

Hlína patří mezi materiály, na kterých vzniká plíseň jen v několika málo případech a jen do té doby, než materiál vyschne a zůstane suchý. „Tento jev může nastat u hrubých hliněných omítek, které obsahují např. slaměnou řezanku, konopí nebo len. Hrubá hliněná omítka nanesená na stěnu v síle 10–20 mm obsahuje velké množství vody, která se pomalu odpařuje do okolního vzduchu. Pokud není zajištěno průběžné provětrávání během vysychání, může se stát, že těsně nad povrchem omítky bude dlouhodobě vysoká koncentrace vodních par, které po delší době mohou zapříčinit vznik plísní.“ [19]

5.5.3 Relativní vnitřní vlhkost a hliněné omítky

„Relativní vlhkost vzduchu menší než 40 % způsobuje vysychání sliznice a zvyšuje náchylnost k nemocem z nachlazení.“ [24] Suchý vzduch totiž zhoršuje čištění stěn průdušnic v plicích. Naopak s vysokou vlhkostí vzduchu roste obranyschopnost, zkracuje životnost virů a bakterií, redukuje pachy, a hlavně snižuje množství prachu. Naopak moc teplé a vlhké prostředí (nad 70 %) snižuje absorpci kyslíku v krvi, tudíž je vnímáno jako nepříjemné. Je tedy velmi důležité držet hodnotu vlhkosti v interiéru mezi 40 a 70 %. Právě hliněné omítky mají úžasnou schopnost regulace vlhkosti v místnosti – potažmo zajišťování vlhčího prostředí a tím pádem zdravějšího.

5.5.4. Vliv větrání

V zimním období je velmi důležitý způsob větrání, jelikož dlouhé větrání může mít za následek velmi suché klima v interiéru. Zejména při vyšším tlaku vzduchu, kdy je teplota i vlhkost vzduchu venku nižší. Větráním se tento vzduch dostává do místnosti, zde se ohřívá a jeho relativní vlhkost tím pádem klesá. Tento jev vysvětluje Mollierův diagram.

Vezmeme-li například zimní venkovní vzduch o teplotě 0 °C a relativní vlhkosti 60 % a ohřejeme ho na interiérovou teplotu 20 °C poklesne jeho relativní vlhkost na méně než 20 %.

5.5.5 Vliv hlíny na regulaci vlhkosti

Nejen hlína, ale i ostatní stavební materiály, mají díky své porositě schopnost absorbovat vlhkost ze vzduchu a poté ji opět vydávat zpět do interiéru a tím přispívat k celkové stabilizaci vnitřního mikroklimatu. Maximální množství vlhkosti, které je materiál schopný pojmout závisí na teplotě a také relativní vlhkosti vzduchu, nazývá se „rovnovážná vlhkost“. Důležitá je samozřejmě i rychlost absorpce jednotlivých materiálů.

„Výzkumy provedené ve Výzkumné laboratoři pro experimentální stavitelství na Univerzitě v Kasselu (FEB) např. prokázaly, že při náhlém vzestupu vlhkosti vzduchu v místnosti z 50 % na 80 % první 1,5 cm silná vrstva zdi z hliněných cihel absorbovala během 48 hodin cca 300 g vody na 1 m² plochy, zatímco vápenopískové cihly a konstrukce ze smrkového dřeva o stejné tloušťce absorbovaly během stejné doby jen asi 100 g/m², omítka 26-76 g/m² a pálené cihly jen 10-30 g/m².“ [24]

Jako další příklad je možné uvést měření, jež probíhalo po dobu 16 dnů u neomítnutých zdí tloušťky 11,5 cm z různých materiálů. Výsledky ukazují, že hliněné cihly při vzestupu vlhkosti v místnosti z 50 % na 80 % absorbovaly téměř 3krát více vlhkosti než cihly vápenopískové a 30krát více vlhkosti než cihly plné. [24]

6. CÍLE

Tématem diplomové práce je stabilita místnosti v závislosti na povětrnostních podmínkách. Proto byly stanoveny níže popsané cíle.

Pro přehlednost je zde uvedena rámcová metodika jednotlivých cílů. Následně je pak podrobná metodika uvedena u jednotlivých experimentů.

1. Experimentální ověření charakteristických vlastností vybrané hliněné omítky v závislosti na absolutní vlhkosti okolního vzduchu.

V první řadě jsem přistoupila k definování několika charakteristických vlastností hlíny v interiéru za pomoci experimentu, kterým jsem zjišťovala změny tepelné vodivosti hlíny vzhledem k absolutní vlhkosti vzduchu v místnosti.

2. Studium teplotně vlhkostních parametrů vnitřního prostředí v závislosti na charakteru přirozeném větrání

Další experiment jsem provedla ohledně přirozeného větrání a obsahem CO₂ během Vánoc v obývacím pokoji, kde se během dne zdržovalo konstantně více lidí. Výsledky jsem poté vyhodnotila z hlediska hygienických požadavků na výměnu vzduchu.

3. Numerické ověření vlivu hliněných omítek na tepelnou stabilitu místnosti v přechodném období v závislosti na povětrnostních podmínkách

Třetím cílem bylo numerické ověření za pomoci softwaru Simulace. Jednalo se o komparaci dvou geometricky identických pokojů, se shodnými okrajovými podmínkami, ale každý s rozdílnou konstrukcí obvodové zdi. Jednou se zděnou ze systému Porotherm, klasicky, podruhé je konstrukce dřevěná s izolací ze slaměných balíků a hliněnou omítkou. Výsledky jsou následně porovnány s experimentálním měřením. Pro analýzu byla použita naměřená data autora a data z meteostanice TUBO.

Dále bylo zkoumáno, jak se mění interiérová teplota těchto tří místností v závislosti na intenzitě přirozeného větrání.

V poslední řadě byly zadány tyto místnosti opět se stejnými konstrukcemi, ale porovnány navzájem podle podmínek normy ČSN 730540 s vyhodnocením, zda dané konstrukce vyhovují normovým požadavkům či nikoli.

7. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VYBRANÉ OMÍTKY

7.1 Omítky PICAS

K provedení mého prvního experimentu byly použity omítky od firmy PICAS, a to hrubé i jemné.

Hrubá omítka neboli jádrová je základní částí souvrství. Omítka PICAS je čistě přírodní hliněná omítka, která je určena pro omítání vnitřních povrchů konstrukcí. Vyrábí se jako „hrubá“ a „hrubá s řezankou“, přičemž obě jsou z přírodní hlíny s příměsí výběrového písku. V hrubé omítce s řezankou jsou přidávána vlákna z nařezané slámy, která přispívají k větší soudržnosti omítky. Na rozdíl od hrubé omítky je vhodná pro nanášení na nestabilní podklady jako je například rákosová rohož, nebo dřevěný rošt a obsahuje o 10 % více jílových částic, tudíž lépe ukládá vlhkost a také akumuluje teplo.

Tyto hrubé hliněné omítky PICAS je možné aplikovat na všechny klasické povrchy, ovšem ty musí být pro tuto omítku správně předpřipraveny. „Podklad musí být suchý, pevný, savý, zbavený prachu, mastnot a ostatních nečistot. Podklad musí být dostatečně vyzrálý, aby nedocházelo k jeho dotvarování ČSN 73 23 10. Veškeré savé podklady (mimo hliněných) je nutné opatřit přínavostním nátěrem (Picas – přínavostní nátěr). Před nanášením omítky musí být podklad dobře provlhčený. Na nesavé podklady (OSB, hlazený beton atd.) se připevní rákosová rohož nebo se vytvoří dřevěný kotvící rošt.“ [23] Je možné provádět ostré rohy, všem nejčastěji se provádí rohy kulaté. Omítka se provádí v tloušťkách od 2,5 cm do 4,5 cm.

Jemná omítka je určena pro provádění finálního povrchu. Jemná omítka PICAS je určena pro vrchní úpravu povrchů v interiéru. Je případně možné ji opatřit nátěrem prodyšným, difúzně otevřeným nátěrem, jako je např. vápenné mléko. Tvoří ji přírodní hlína s příměsí výběrového písku a organických vláken. Zpracovává se ručně pomocí

hladítek. Je nutné, aby podklad byl pevný, vyzrálý, suchý a savý. Musí být zbavený prachu, nečistot a mastnoty. Je možné ji provést nejen na hrubé hliněné omítky, což je ovšem lepší varianta, ale i na omítky vápenné nebo vápenocementové. Podklad však nesmí být hladký a musí být opatřen rákosovou rohoží. [16] [23]

Tabulka č. 8: Technické parametry omítek PICAS [23]

| Technické parametry | Hrubá omítka | Hrubá omítka s řezankou | Jemná omítka |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Zrnitost | 0 – 4,0 mm | 0 – 4,0 mm | 0 – 1,0 mm |
| Barva | Přírodní hnědá | Přírodní hnědá | Přírodní hnědá |
| Doporučená síla jedné vrstvy | 10–15 mm | 10–20 mm | 2–3 mm |
| Objemová hmotnost zatvrdlé malty | 1760 kg/m ³ | 1650 kg/m ³ | 1 734 kg/m ³ |
| Spotřeba materiálu | 18 kg/m ² (síla 1 cm) | 17 kg/m ² (síla 1 cm) | 7,5 kg/m ² (síla 4 mm) |
| Faktor difúzního odporu | 1,3 m | 1,1 m | 3,3 m |
| Pevnost v tlaku | 1,4 N/mm ² | 1,1 N/mm ² | 0,8 N/mm ² |
| Spotřeba vody | 0,16 – 0,20 l/kg | 0,19 – 0,24 l/kg | 0,14 – 0,18 l/kg |

7.2 Výroba vzorků

Nejprve byly vyrobeny čtyři hliněné vzorky z hrubé omítky s řezankou PICAS a jemné omítky rovněž od firmy PICAS. Omítky jsou dodávány v pytlích o 40 kg (obr. č. 11)



Obrázek č. 11 – Hrubá omítka s řezankou a jemná omítka, PICAS (zdroj: archiv autora)

Všechny 4 vzorky měly rozměr 35 cm x 35 cm. Vzorky č. 1 a č. 2 měly tloušťku hrubé omítky s řezankou 4,5 cm s následnou vrstvou jemné omítky o tloušťce 4 mm. Vzorky č. 3 a č. 4 jsem vytvořila v tloušťce hrubé omítky řezankou 2,5 cm a vrstvou jemné omítky rovněž 4 mm.

Na začátku výroby bylo namícháno potřebné množství omítky. Pro hrubou omítku s řezankou je předepsána spotřeba vody na pytel, tedy na 40 kg směsi, 8 litrů. Spotřeba materiálu je dána $17 \text{ kg/m}^2/1 \text{ cm}$. Zde bylo potřeba vytvořit 4 vzorky o ploše $0,35 \times 0,35 \text{ m}$, a o tloušťce dvakrát 2,5 cm a dvakrát 4,5 cm. Na jeden vzorek o tloušťce 4,5 cm je potřeba 9,371 kg směsi a na jeden vzorek o tloušťce 2,5 cm je třeba 5,206 kg směsi. Dohromady bylo tedy smícháno 29,154 kg směsi s 5,831 l vody, která je předepsána v poměru 8 l/pytel (40 kg). Podle předepsaného postupu se tyto dvě složky míchaly pomocí ručního pomaloběžného míchadla EXTOL PREMIUM (obr. č. 13) a po promíchání následovala 5 min pauza a poté se směs znovu dobře promíchala.



Obrázek č. 13 – Ruční pomaloběžné mísidlo



Obrázek č. 14 – Promíchaná směs (zdroj: archiv autora)



Obrázek č. 15 – Forma pro vzorek hliněné omítky (zdroj: archiv autora)

Hlína byla poté plněna do připravených dřevěných rámců o straně 35 cm, (obr. č. 15.) Nejdříve byly vytvořeny dva vzorky o tloušťce 2,5 cm, přičemž jejich výška byla kontrolována seříznutým úhelníkem, který se poté seřízl o další 2 cm a do dalších dvou forem byly vytvořeny vzorky o výšce 4,5 cm. (obr. č. 16).



Obrázek č. 16 – Výroba vzorků o výšce 4,5 cm (zdroj: archiv autora)

Poté se vzorky nechaly vysychat a po třech dnech byla provedena jejich kontrola (obr. 17, 18). Vzorky ještě nebyly vyschlé, proto bylo nutné je nechat schnout delší čas.

Dohromady po 13 dnech již byly vzorky suché a nepopraskané, takže nadešel čas pro výrobu finální vrstvy, jemné hliněné omítky o tloušťce 4 mm.



Obrázek č. 17 a č. 18 – Vzorky po třech dnech od data výroby (zdroj: archiv autora)

Směs jemné omítky je předepsána v poměru $8 \text{ kg/m}^2/4 \text{ mm}$ s vodou, která se mísí se směsí v poměru 6 l/pytel. Pytle jemné omítky jsou rovněž dodávány po 40 kg. Pro jeden vzorek o hraně délky 35 cm je tedy potřeba 0,98 kg směsi a 0,15 l vody a pro všechny čtyři 3,92 kg směsi a 0,6 litrů pitné vody. Průběh nanášení jemné hliněné vrstvy je vidět na obrázku č. 19.



Obrázek č. 19 – Nanášení jemné omítky (zdroj: archiv autora)

Vzorky byly kontrolovány po sedmi dnech vysychání a byly popraskané, proto se povrch omítky znovu navlhčil a přefilcoval. Popraskanou omítku je možné vidět na obrázku č. 20.



Obrázek č. 20 – Popraskaná jemná omítka (zdroj: archiv autora)

Průběh procesu je vyneseno v Ganttově diagramu.

| den | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Výroba | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zrání | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontrola | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jemná o. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zrání j.o. | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Diagram č. 1 – Proces výroby hliněných vzorků (zdroj: archiv autora)

7.3 MĚŘENÍ

Po dostatečném vysušení vzorků byly vzorky vyndány z forem a očištěny. V klimakomůře se vzorky nejdříve stabilizovaly na teplotu 24 °C a vlhkost 70 %, což jsou podmínky běžné koupelny. Pak byla změřena jejich tepelná vodivost. Dále byly vzorky stabilizovány na vlhkost 65 % a 20 °C, na 35 % a 20 °C a naposledy na 20 % a 20 °C a pokaždé byl znovu měřen jejich součinitel tepelné vodivosti a také jejich hmotnost.

Měření jsem prováděla pomocí přístroje ISOMET 2104.

7.3.1 ISOMET 2104

Přístroj je vyroben firmou Applied Precision z Bratislavy, Slovensko. Měří tepelnou a teplotní vodivost materiálů. Jsou zde k dispozici dva typy měřících sond a těmi jsou jehlová a plošná sonda. Jehla se používá k měření měkkých a sypkých materiálů a plošná sonda se přikládá na materiály pevného skupenství. Plošná sonda byla použita při tomto experimentu měření tepelné vodivosti hliněných vzorků za různých teplotních i vlhkostních podmínek. Přístroj je na obrázku č. 21.



Obrázek č. 21 – ISOMET 2104 (zdroj: archiv autora)

Přístroj poskytuje výsledky měření rychle, ale vcelku s velkou odchylkou, která činí až 15 %.

Průběh stabilizace vzorků na konkrétní relativní vlhkost a teplotu. A dále následného měření součinitele tepelné vodivosti a hmotnosti vzorků je zachycen na Ganttově diagramu.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 70%,24°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65%,20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35%,20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20%,20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| měření | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

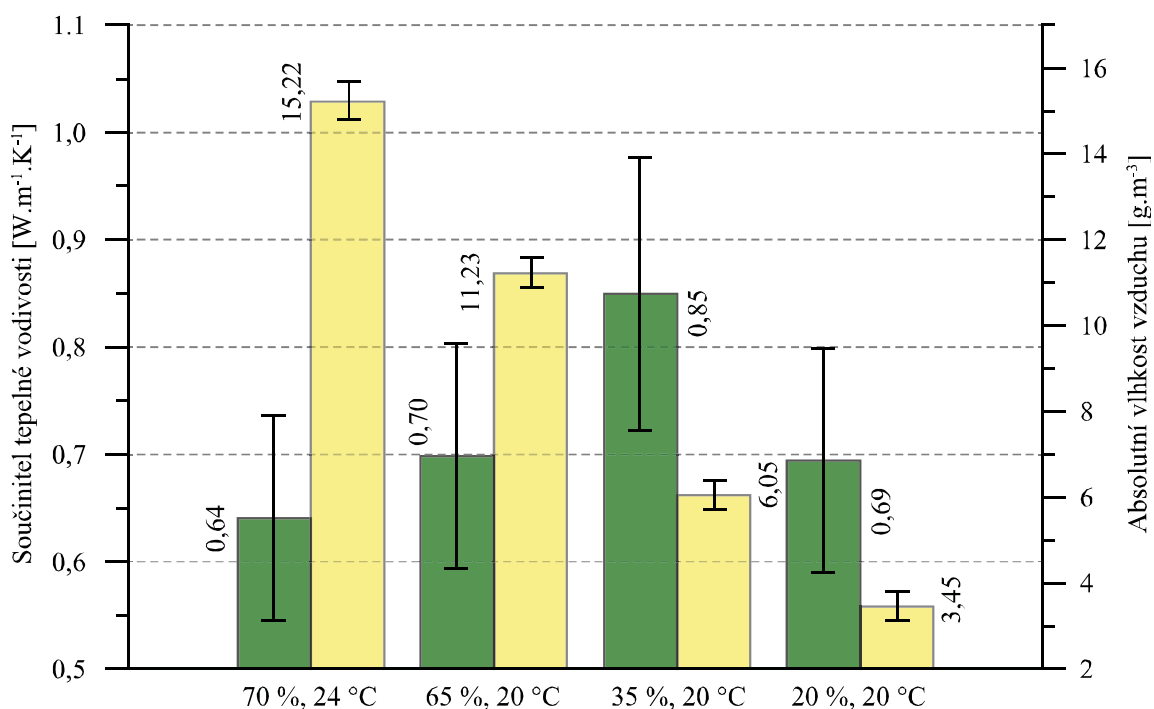
Diagram č. 2 – Proces stabilizace a měření hliněných vzorků (zdroj: archiv autora)

7.4 Výsledky měření

Výsledky měření jsou zaneseny v grafu č. 9. Žluté sloupce představují absolutní vlhkost prostředí s jejich příslušnými odchylkami, data jsou zjištěná z Mollierova diagramu vlhkého vzduchu. K příslušné vlhkosti je zde vyobrazen zelený sloupec, který znázorňuje naměřený součinitel tepelné vodivosti právě za daných podmínek. Součinitel tepelné vodivosti deklaruje firma PICAS jako menší než $0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Z těchto výsledků jsem vypočítala medián, který je po zaokrouhlení $0,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ přičemž s touto hodnotou poté korespondují všechny výsledky s jejich odchylkami, kromě měření číslo 3, které se alespoň této hodnotě seshora blíží.

Z tohoto grafu je tedy patrné, že vlhkost vzduchu v interiéru nemá zásadní vliv na tepelně-technické parametry hliněných omítek.



Graf č. 9: Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti včetně nejistoty/odchylky měření

V grafu č. 10 je zanesen relativní pokles hmotnosti v souvislosti s vysycháním vzorků. Je možné pozorovat pokles hmotnosti vzorků s klesající relativní vlhkostí vzduchu prostředí, ve kterém se vzorek nacházel. V prvním případě jde o relativní vlhkost 70 %, ve druhém 65 %, třetím 35 % a posledním čtvrtém 20 %.



Graf č. 10: Závislost hmotnosti na relativní vlhkosti prostředí

Z grafu lze vyčíst pokles hmotnosti menší než 1 % při rozdílu absolutní vlhkosti vzduchu mezi prvním a posledním prostředím cca 11 g/m².

Z tohoto experimentu je tedy možné usoudit, že hliněné omítky PICAS vysychají relativně pomalu. Byl aplikován tedy i opačný postup. Obdobně jako na experimentu univerzity v Kassel. Kde hliněná omítka byla vystavena změně relativní vlhkosti během 48 hodin. Změna relativní vlhkosti proběhla z 50 % na 84 %.

Po zvlhčení omítky z relativní vlhkosti 50 % na 84 % během 48 hodin byl změřen přírůstek hmotnosti u hliněných omítek PICAS 238 g/m² při tloušťce vzorku 3 cm. Je tedy prokázáno, že omítky pomalu vysychají, ale naopak vlhkost přijímají mnohem rychleji.

8. TEPLITNĚ VLHKOSTNÍ PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Pro tento experiment byl použit hlavně přístroj Wöhler CDL 210, který byl umístěn v našem obývacím pokoji o velikosti 38,5 m², a objemu 92,4 m³.

WÖHLER CDL 210

Přístroj Wöhler CDL 210 slouží pro sběr dat CO₂, teploty a vlhkosti vzduchu. Používá se pro pozorování klimatu v místnosti. Přístroj lze připojit prostřednictvím k počítači pomocí USB kabelu, kde je potom možné naměřená data dále graficky zpracovávat. Na displeji jsou zobrazeny aktuální výsledky koncentrace oxidu uhličitého v místnosti, teplota i relativní vlhkosti vzduchu. V přístroji je možné nastavit hraniční hodnotu CO₂ v místnosti, přičemž při překročení nastavené hodnoty přístroj CDL 210 upozorní uživatele akustickým signálem. Přístroj CDL je zobrazen na obrázku č. 22.

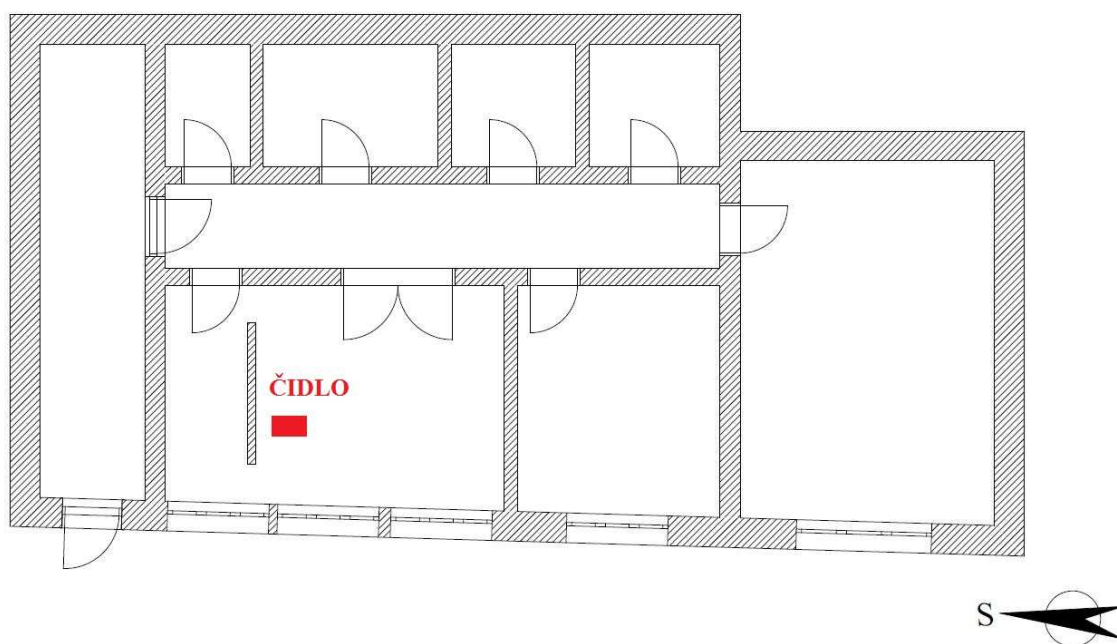


Obrázek č. 22 – Wöhler CDL 210 (zdroj: archiv autora)

8.1 Studium koncentrace CO₂

Během svátků byl přístroj umístěn v obývacím pokoji a mimoto byl zaznamenáván též počet lidí v místnosti a četnost a délka větrání. Pravdou je, že se nevětralo příliš často, protože si všichni stěžovali na zimu. Z toho také plynou zaznamenané hodnoty koncentrace CO₂, které vychází spíše nepříznivě, tedy nad 1000 ppm.

Na obrázku č. 23 je schéma bytu, ve kterém byl přístroj umístěn.

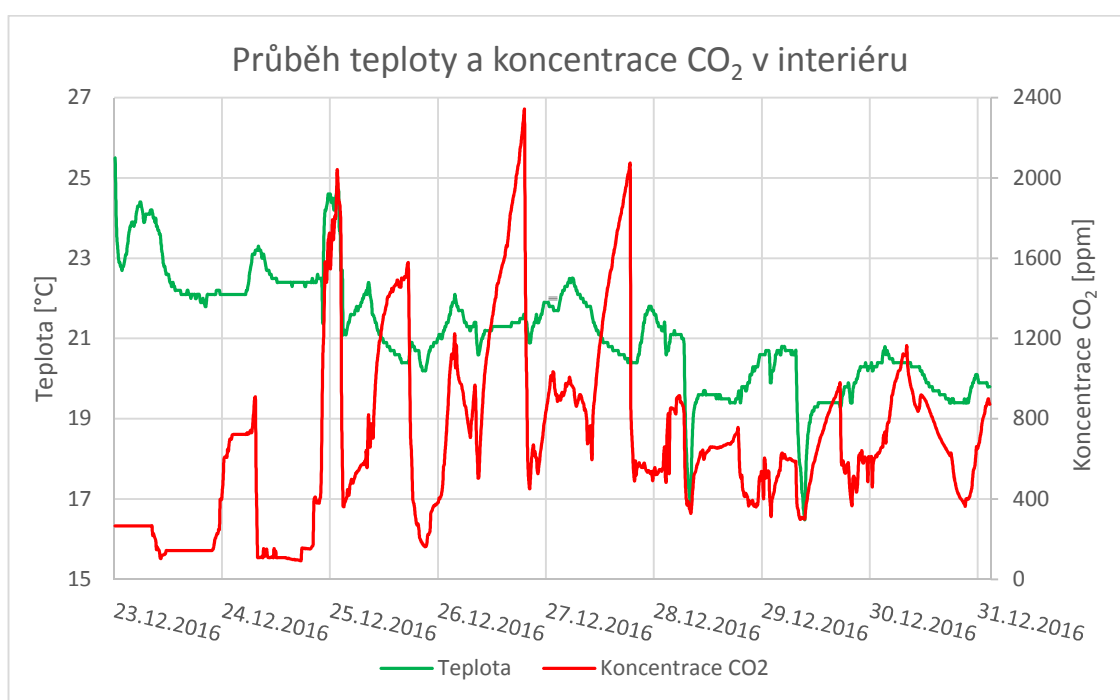


Obrázek č. 23 – Schéma bytu (zdroj: archiv autora)

Na prvním grafu (graf č. 11) jsou zaznamenané koncentrace CO₂ a teplota během prázdnin, a to v týdnu 24. 12. 2016 až 31. 12. 2016. Začátkem týdne bylo v interiéru tepleji než koncem týdne, a to okolo 23 °C. V druhé polovině týdne se teplota přes den ustalovala pod 21 °C. Tento pokles teploty si vysvětlují tím, že v první polovině týdne bylo topení zapnuté celou po celou dobu, ale poté bylo přes noc i části dne vypnuté, jelikož venku se oteplilo a také začalo svítit slunce. S oteplením také byla nechávána

okna přes noc otevřená, a proto docházelo v pokoji k poklesu teplot. S tím souvisí také koncentrace CO_2 .

První dva dny jsou hodnoty ppm velmi nízké, jelikož v pokoji se nenacházel téměř nikdo. Od 26. prosince se přes den koncentrace CO_2 vždy zvýšila přes 1000 ppm a je také vidět, že 26. 12, 27. 12. a 28. 12. nejvíce, až k 2500 ppm a to proto, že v pokoji bylo přes 10 lidí, přičemž ostatní dny okolo 5. Po vyprázdnění pokoje došlo pokaždé k otevření oken. S vyvětráním se koncentrace vždy snížila na správnou úroveň, tedy okolo 400 ppm.



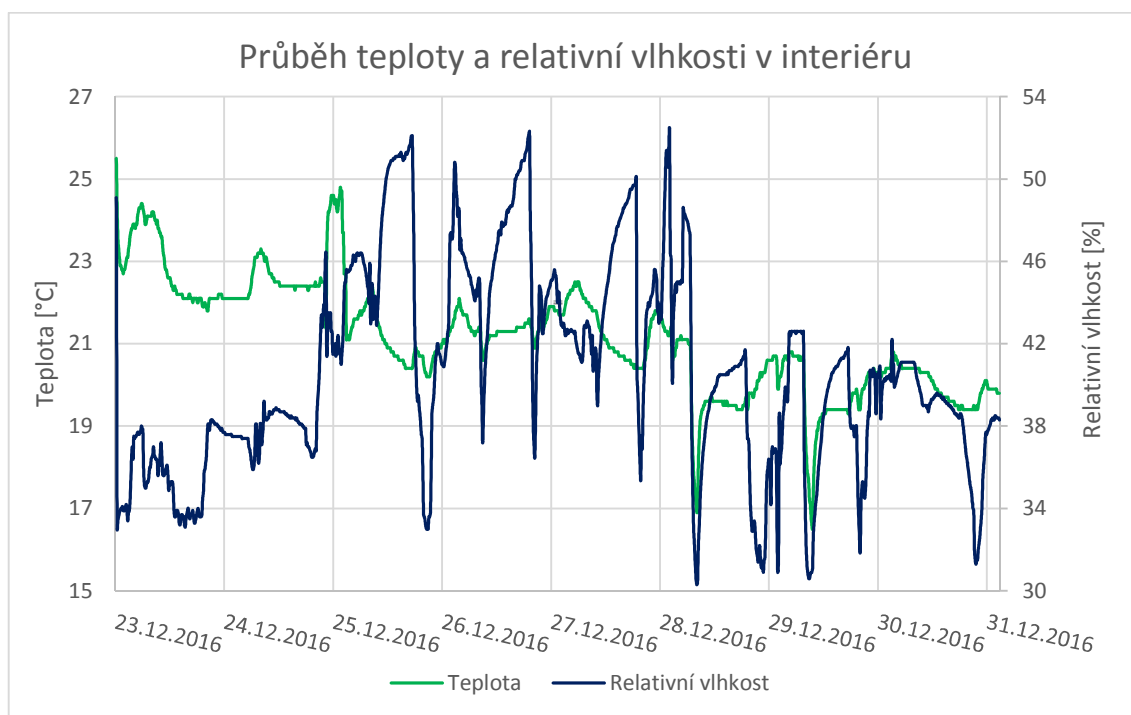
Graf č. 11: Teplota a koncentrace CO_2 v pokoji během týdne

8.2 Průběh relativní vlhkosti v místnosti

Relativní vlhkost vzduchu v interiéru zůstala po většinou pod 50 %. Většinu týdne se hodnoty pohybovaly okolo 45 %, ale místy bylo v místnosti pouhých 30 % vlhkosti, což je v zimě běžný problém zateplených domů či bytů v důsledku přirozeného větrání, jelikož čerstvý studený vzduch má nízkou relativní vlhkost. Relativní vlhkost vzduchu

pod hodnotou 30 % začíná být pro člověka nepříjemná. V případě mého experimentu se ale vždy vlhkost po krátké době vrátila na původních 45 % v důsledku trvalého pobývání okolo 5 osob a dalšími zdroji nezapáchající vodní páry, jako vzniká například v kuchyni anebo v koupelně při sprchování a je tudíž možné jí neodvětrat pryč, ale pomocí ní zvlhčit prostředí v bytě.

Z grafu je patrné, že při klesání teploty klesala zároveň i relativní vlhkost. Děje se tak právě proto, jak již bylo řečeno. Teplota klesá s otevřeným oknem a zároveň s otevřeným oknem jde do interiéru studený vzduch s nízkou relativní vlhkostí.



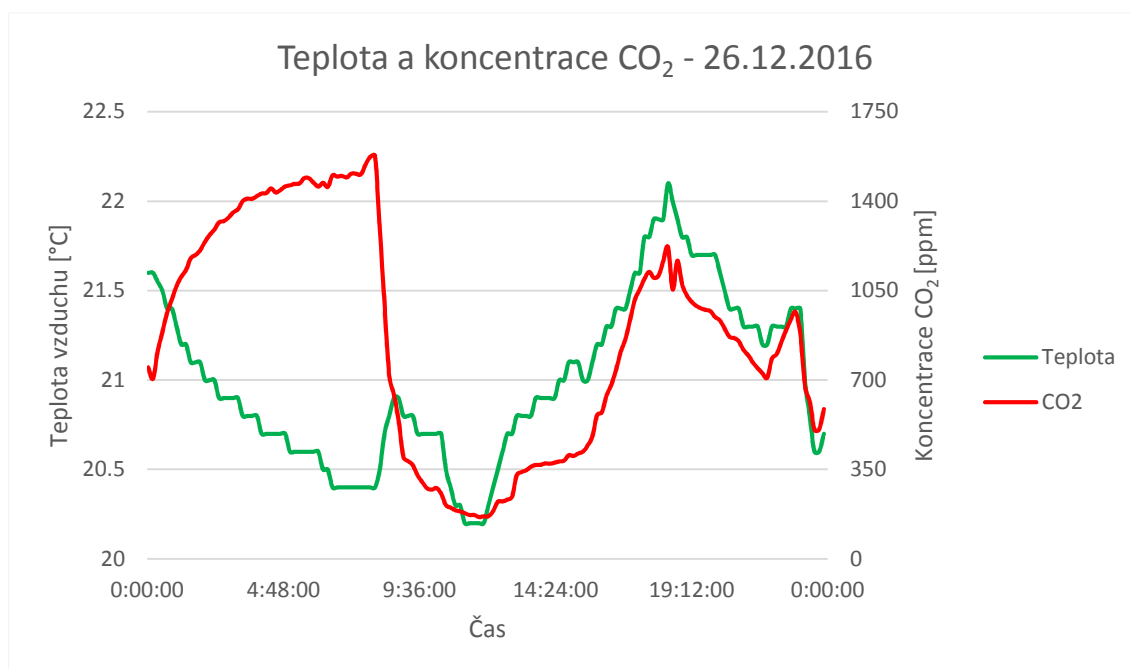
Graf č. 12: Průběh teploty a relativní vlhkosti v pokoji během týdne

Pro detailnější vývoj situace s koncentrací oxidu uhličitého a také relativní vlhkosti interiéru jsem do následujícího grafu zaznamenala pouze jeden den. A to 26. prosinec 2016. (graf č. 12)

8.2.1 Pondělí, 26. 12. 2015

„Během spánku, a nejen nočního, bychom měli mít jistotu, že dýcháme čistý venkovní vzduch s obsahem CO_2 nejlépe 400 ppm, nejhůře do 700 ppm. Pokud si tím nejsme jisti, je dobré i v zimě spát s otevřeným oknem – třeba pod duchnou a s čepicí na hlavě.“ [25]

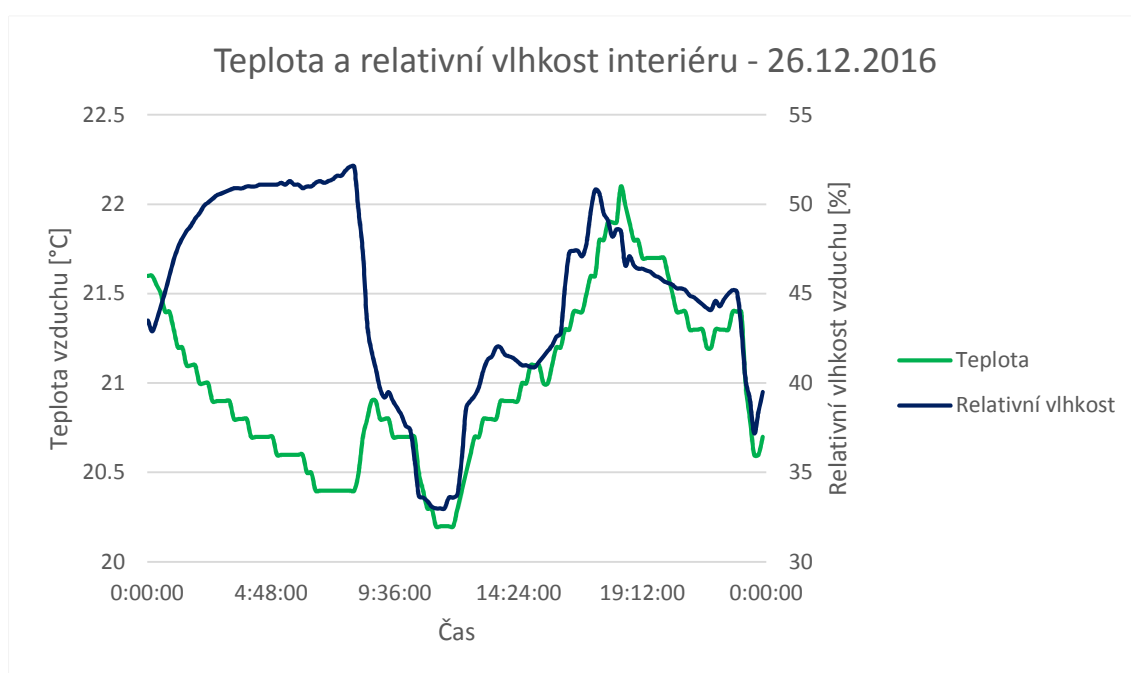
Jak je vidět v grafu č. 12 tyto požadavky nebyly splněny. V noci nebylo otevřené okno, ale topení bylo zavřené. Teplota tedy přes noc pomalu klesala z 21,6 °C na 20,3 °C, ale koncentrace oxidu uhličitého vystoupala až do výše 1580 ppm, přičemž doporučená hodnota koncentrace ve vnitřních prostorách je 1000 ppm. Ráno bylo okno otevřeno po dobu asi deseti minut. A se vzduch stihl vyčistit až na 300 ppm. Po zavření okna začala koncentrace oxidu uhličitého opět pomalu stoupat. Poté došlo k otevření okna ještě jednou během večera okolo 19. hodiny a naposledy před půlnocí. Hodnoty koncentrace se ale během dne pohybovaly nejvýše okolo přípustných 1000 ppm.



Graf č. 12: Teplota a koncentrace CO_2 v pokoji 26. 12. 2016

Při sledování relativní vlhkosti interiéru v průběhu stejného dne je možné pozorovat opět obdobnou věc. Přes noc, kdy bylo okno zavřené, pomalu klesala teplota a relativní vlhkost se pomalu zvyšovala. Ráno došlo k otevření topení čili k mírnému vzestupu teploty, ale následně také došlo k otevření okna což vedlo k prudkému snížení relativní vlhkosti v místnosti s příchodem studeného suchého vzduchu.

Dále v průběhu dne docházelo k nárůstu teploty úměrně s nárůstem relativní vlhkosti vzduchu, přičemž po každém otevření okna došlo opět k rapidnímu poklesu relativní vlhkosti interiéru.



Graf č. 12: Teplota a relativní vlhkost vzduchu v pokoji 26. 12. 2016

9. SOFTWARE SIMULACE

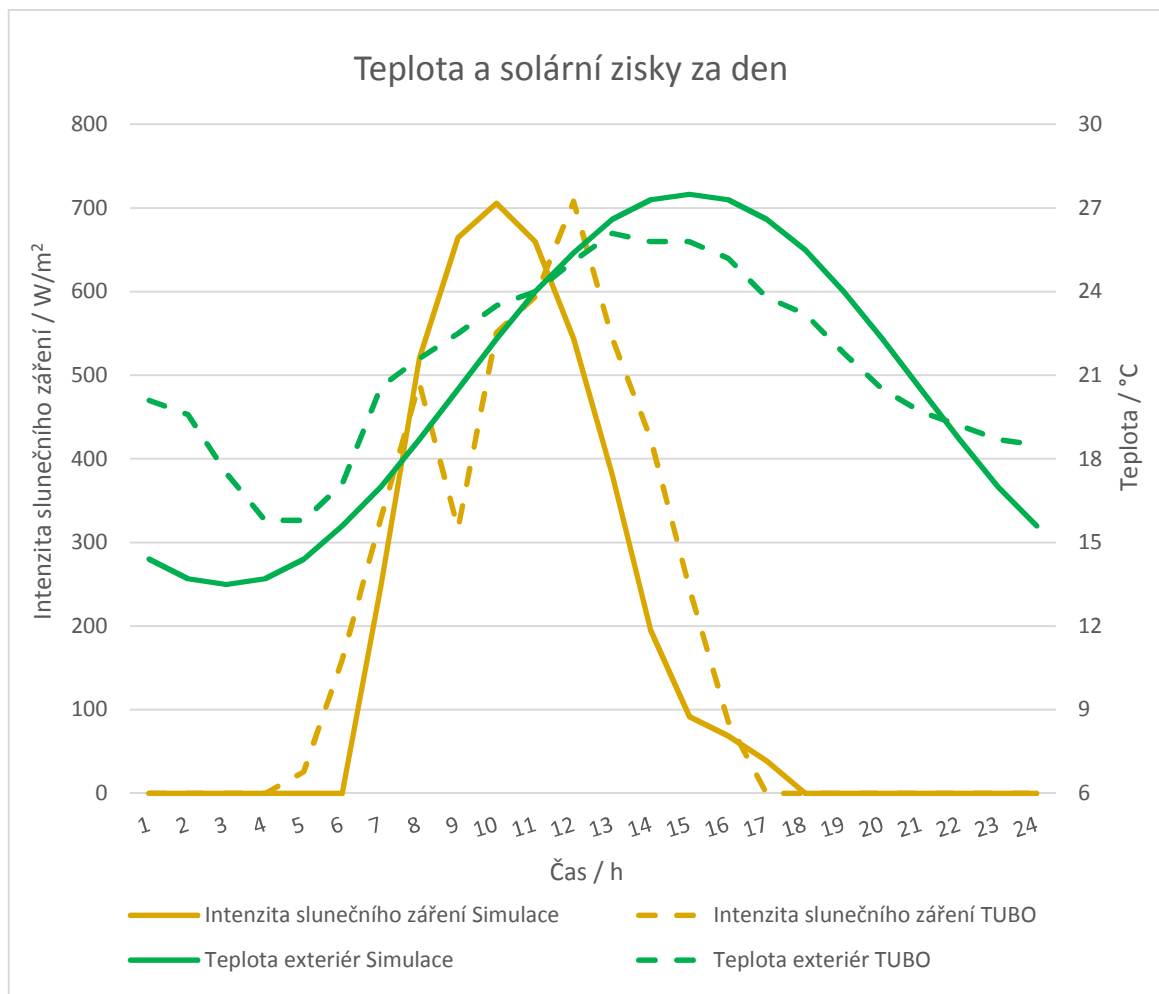
Pro práci v programu Simulace byl použit dvakrát stejný pokoj, avšak pokaždé s jinou obvodovou stěnou. Pro provedení experimentu jsem použila den 21. 9. 2016 pro nějž jsou dostupné informace o teplotě a intenzitě slunečního záření z permanentní družicové stanice TUBO, která je umístěná v Brně. Prostřednictvím naměřených meteorologických dat touto stanicí byly zpracovány údaje o teplotě a intenzitě slunečního záření reálných podmínek v exteriéru. Tato data jsou zanesena v grafu č. 13 společně s návrhovými daty, která jsou dostupná v programu Simulace pro den 21. září.

Hodnoty se mírně liší, ale nijak zásadně. Toto je nejbližší varianta, kterou jsem dokázala nastavit. U průběhu teplot zde dochází k rozdílu mezi reálnou teplotou a teplotou návrhovou podle programu Simulace zejména v brzkých ranních hodinách, kdy Simulace počítá s chladnějším počasím, než které bylo v září 2016, proto je zde rozdíl až 4 °C. Poté teplota roste víceméně souměrně a k dalšímu rozdílu dochází při rozdílu amplitud o 1,5 °C, protože program je nastavený na maximální teplotu 27,5 °C, ale skutečná teplota byla 26,1 °C. Ve skutečnosti také nastalo denní maximum o dvě hodiny dříve než v simulovaném prostředí.

Co se týče intenzity slunečního záření, ve skutečnosti nastala doba, kdy je možné počítat solární zisky o 3 hodiny ráno dříve, než je předpokládáno pro tento den 21. září. Naproti tomu amplituda skutečné intenzity slunečního záření nastala o 2 hodiny později.

Tabulka č. 9: Rozdíly teplot a intenzity slunečního záření mezi skutečným stavem a podmínkami simulujícími skutečný stav

| | | TEPLOTA [°C] | ČAS [h] | INTENZITA [W.m ²] | ČAS [h] |
|---------|----------|-----------------|------------|----------------------------------|------------|
| MAXIMUM | TUBO | 26,1 | 13 | 708 | 12 |
| | SIMULACE | 27,5 | 15 | 706 | 10 |
| MINIMUM | TUBO | 15,8 | 4 | 0 | - |
| | SIMULACE | 13,5 | 3 | 0 | - |



Graf č. 13: Teplota a intenzita slunečního záření reálně a podle programu Simulace

9.1 Hodnoty potřebné pro zadávání

Pro výpočet tepelné stability místnosti v letním období je důležité vědět parametry okna. Okno pokoje je zaskleno ze 75 % a je stíněno pouze vnitřními žaluziemi, které ovšem byly často vytažené.

Propustnost skla

Propustnost skla bylo změřeno přístrojem Pocket detective 2.1, který vyrábí firma Monroe ProMotorCar (obr. č. 23), jedná se o malé dvoudílné měřidlo propustnosti

světla. Měřidlo bylo speciálně vyrobeno pro měření propustnosti, ale současně též odrazivosti všech automobilových skel.

Jedná se o velice přesný, rychlý, a přitom spolehlivý přístroj se snadnou obsluhou. Využívá patentovaný Magna samonastavovací systém měření s možností recalibrace. Výhodné je také použití širšího spektra vlnových délek, které zabezpečuje možnost měření i na velmi tlustých sklech.



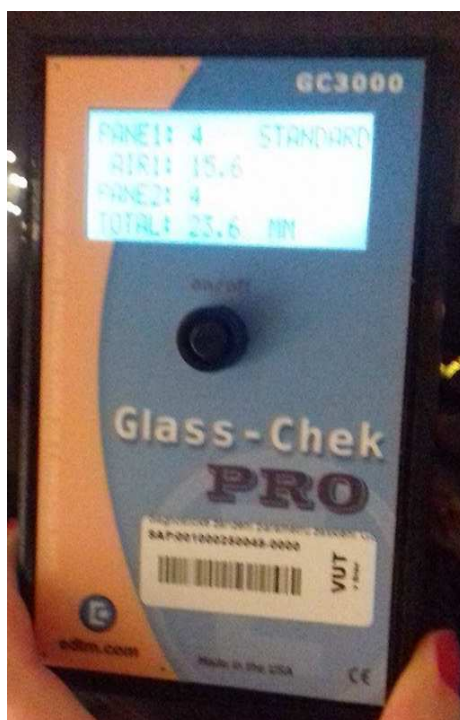
Obrázek č. 23 – Pocket detective (zdroj: archiv autora)

Hodnota propustnosti vyšla 0,68 a po zohlednění prachu součinitelem 0,9 vychází součinitel propustnosti skla τ pro sluneční záření 0,61. Současně hodnota propustnosti skla téhož okna byla pomocí programu Stabilita vypočtena na 0,55.

Pro zadání okna do programu Stabilita za účelem zjištění součinitele propustnosti bylo potřeba zjistit tloušťka skel okna. K tomu byl použit přístroj GC 3000 Glass Chek PRO.

GC 3000 Glass Chek PRO

Přístroj je vyroben ve Spojených státech amerických. Jedná se o přístroj vybavený detektory, které jsou schopné určit tloušťku skel. Přístroj je schopen určit tloušťku skla i vzduchových mezer mezi skly u oken jednoduchých, dvojskel i trojskel při přiložení pouze z jedné strany okna. Právě možnost práce pouze z jedné strany velmi usnadňuje práci a šetří čas, zejména v budovách, kde jsou okna přístupná pouze z jedné strany ať už z jakéhokoliv důvodu.



Obrázek č. 24 – GC 3000 Glass Chek PRO (zdroj: archiv autora)

Okno bylo vyhodnoceno jako dvojsklo s 4 mm tlustými skly a 15,4 mm širokou vzduchovou mezerou. Což je dohromady 23,9 mm.

9.2 Zděná konstrukce

Pro návrhové podmínky, které byly vyhodnoceny jako nejbližší k podmínkám reálným podle stanice TUBO, jak je zaneseno v grafu č. 13 byla nejprve do programu Simulace zadána obvodová konstrukce z cihel plných pálených tak, jak je tomu ve skutečnosti. Obvodová zeď má klasické vápenocementové omítky.

Nejvíce se skutečnosti blížila simulace právě když byla okna přes noc otevřená a přes den zavřená. Pro případ simulace byla zadána výměna vzduchu v místnosti $n = 10$ za hodinu po dobu pěti hodin od 1:00 do 5:00.

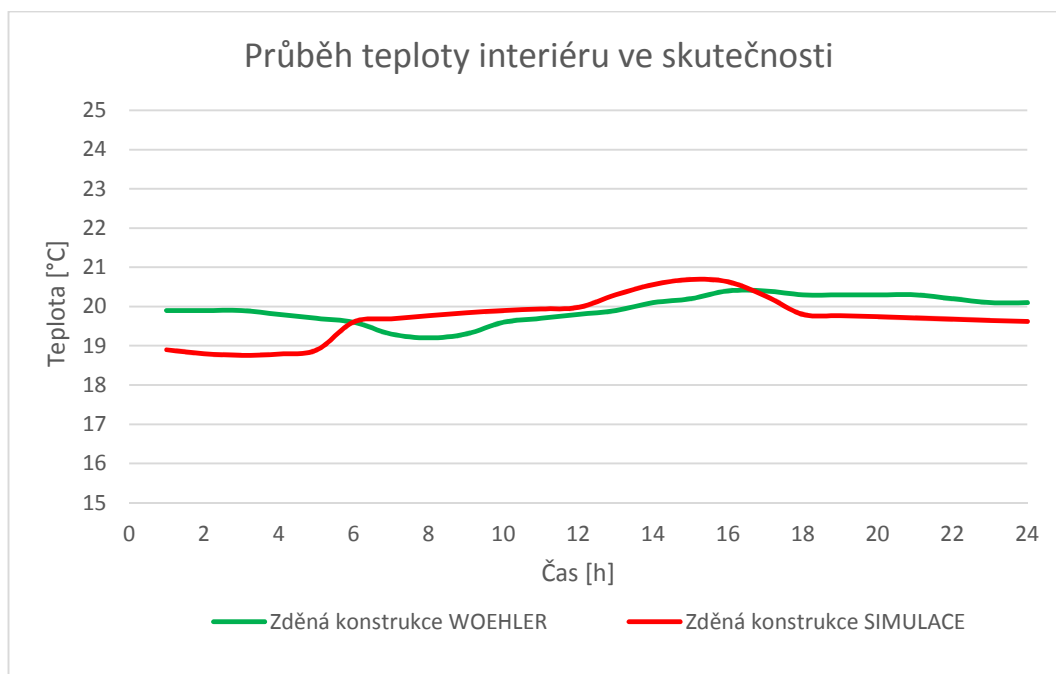
V teoretické části byl vypočítán větrací cyklus na $n = 30$ při otevření okna na 15° . Skutečný úhel okna byl poté změřen úhломěrem na 6° (obr. 25). Proto hodnota zadaná do Simulace $n = 10$ je mnohem menší, reálná.



Obrázek č. 25 – Úhloměr (zdroj: archiv autora)

Průběh teploty v interiéru tedy při podmínkách vycházejících ze skutečných podmínek vychází obdobně jako výsledky naměřené. Největší rozdíl v teplotě je v brzkých ranních teplotách, jelikož v září se předpokládají chladnější noci, než byly toto září. Teploty v pokoji proto neklesly ve skutečnosti během noci natolik, jak je nasimulováno

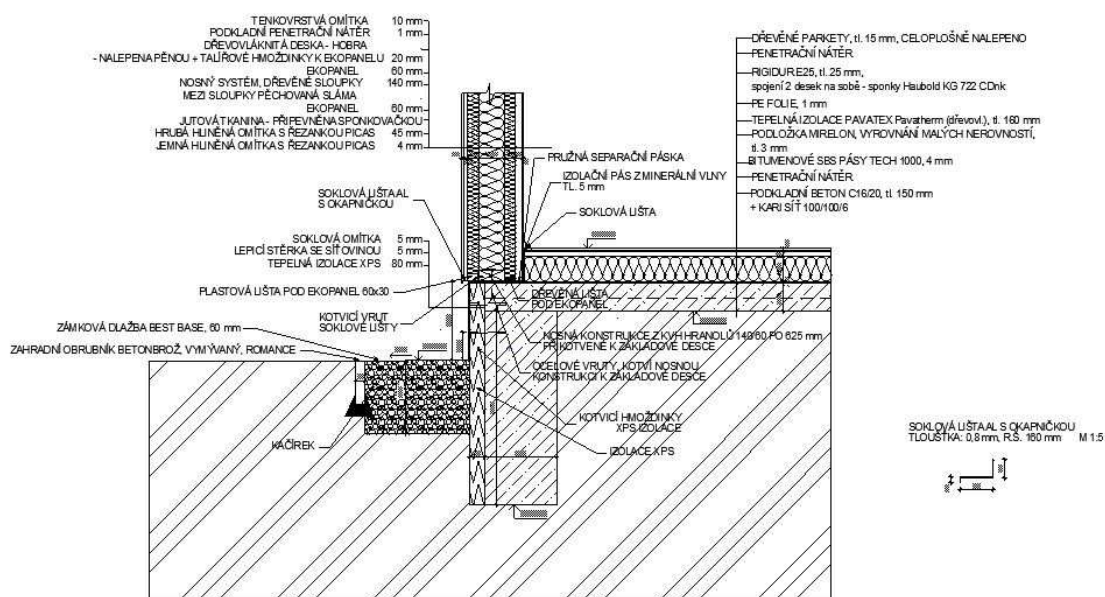
v programu. Bližší hodnoty se nastavit nepodařilo, nejvyšší rozdíl teplot vyšel 1,14 °C. Vezme-li se ale v potaz odchylka přístroje Woehler, která činí $\pm 0,6$ °C jsou výsledky hodně blízké realitě.



Graf č. 14: Průběh teploty interiéru podle naměřených dat a podle dat ze Simulace

9.3 Dřevostavba s hliněnými omítkami

Po ověření, že podmínky jsou nastaveny tak, jak tomu bylo ve skutečnosti byl do těchto stejných podmínek zadán identický pokoj s identickými stěnami, ale s jinou obvodovou konstrukcí a s vnitřními hliněnými omítkami. V prvním případě se jednalo o konstrukci klasické dřevostavby s použitím slámy jako tepelné izolace. (obr. č. 26) Jsou zde použity ekopanely, což je jeden z dalších způsobů použití slámy, mimo slaměné balíky.



Obrázek č. 26 – Skladba stěny dřevostavby s izolací ze slámy

Ekopanel

Ekopanel je ekologická difúzně otevřená stavební deska. Je lisovaná za vysoké teploty a tlaku z obilné slámy bez použití pojiv, polepená recyklovanou lepenkou. Ekopanel je 100 % přírodní, plně recyklovatelný, pevný a difúzně otevřený stavební materiál vhodný pro trvalé zabudování do staveb.

- zajišťuje nízké provozní náklady díky tepelně-izolačním vlastnostem a vysoké akumulaci tepla
- rychle a snadno se montuje

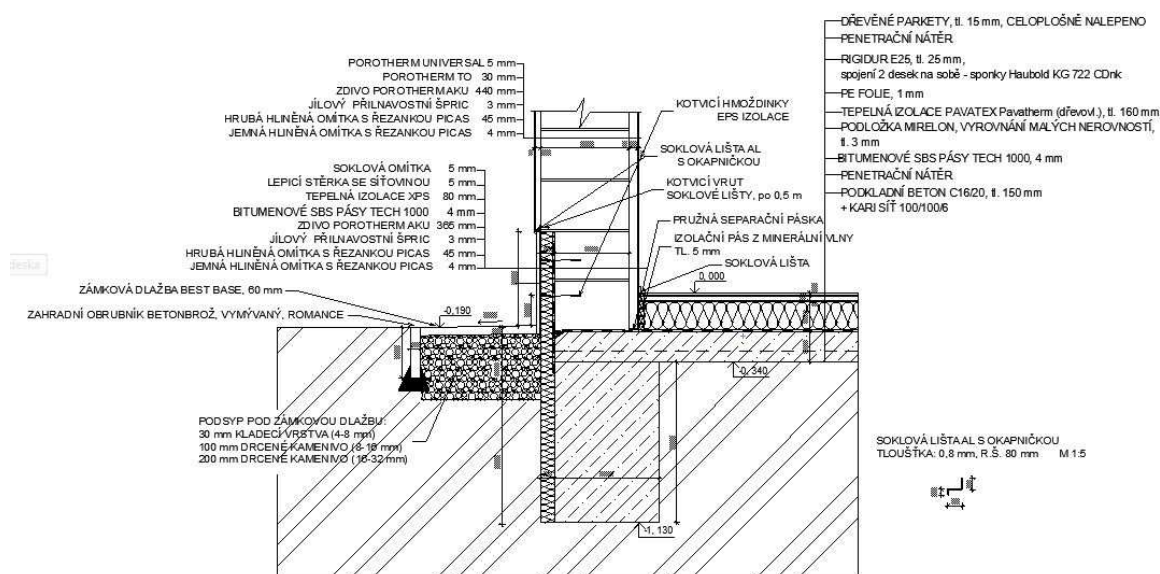
- je 100 % ekologický
- zvukově izoluje
- je mechanicky odolný
- umožňuje realizovat kompletní dřevostavbu na klíč nebo stavbu montovaného domu svépomocí [26]



Obrázek č. 27 – Ekopanel [26]

9.4 Stěna z tvárnic Porotherm s hliněnými omítkami

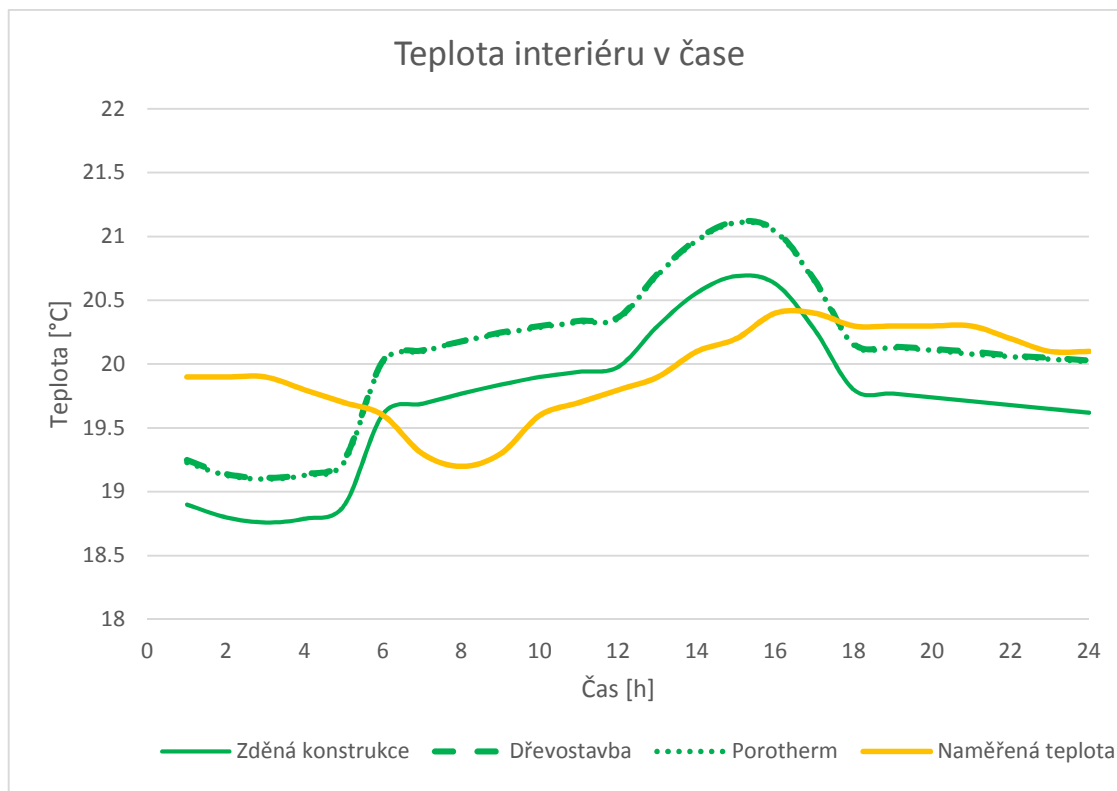
Dále byla pro tyto podmínky vnějšího prostředí použita další tradiční konstrukce, ovšem opět s hliněnými omítkami v interiéru. Detail skladby stěny je vidět na obrázku č. 28. Jedná se o klasickou skladbu stěny systému Porotherm tloušťky 440 mm bez zateplení. Ze strany interiéru je použita hliněná omítka. Hrubá hliněná omítka má tloušťku 45 mm a jemná omítka 4 mm.



Obrázek č. 28 – Skladba stěny zděné z tvárnic Porotherm

9.5 Výsledky SIMULACE

Programem Simulace byla ověřena letní tepelná stabilita pro tři identické pokoje, ale pokaždé s jinou obvodovou stěnou. Výsledky teplotního vývoje v interiéru pokoje jsou zaneseny v grafu č. 15.



Graf č. 15: Průběh teploty interiéru podle Simulace pro různé konstrukce

Z grafu je patrné, že pokoj s obvodovou konstrukcí dřevostavby s izolací z ekopanelů má téměř identický průběh interiérových teplot jako pokoj, který má obvodovou stěnu postavenou z tvárnic Porotherm. Naopak pokoj z cihel plných pálených udržel interiérové teploty po celý den nižší.

Z výsledků programu je tedy možné tvrdit, že zdivo má větší schopnost akumulovat teplo než stěna z tvárnic Porotherm a „dřevostavba“, jelikož jeho činitel tepelné jímavosti vychází nejvyšší. Tepelná jímavost je přímo úměrná součiniteli tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacitě materiálu a objemové hmotnosti.

Tabulka č. 10: Tepelná jímavosti B [W^2/sm^4K^2] obvodové stěny podle programu

Simulace

| | Tepelná jímavost B stěny [W^2/sm^4K^2] |
|-------------|---|
| Zdivo CPP | 3,41 |
| Dřevostavba | 3,18 |
| Porotherm | 3,13 |

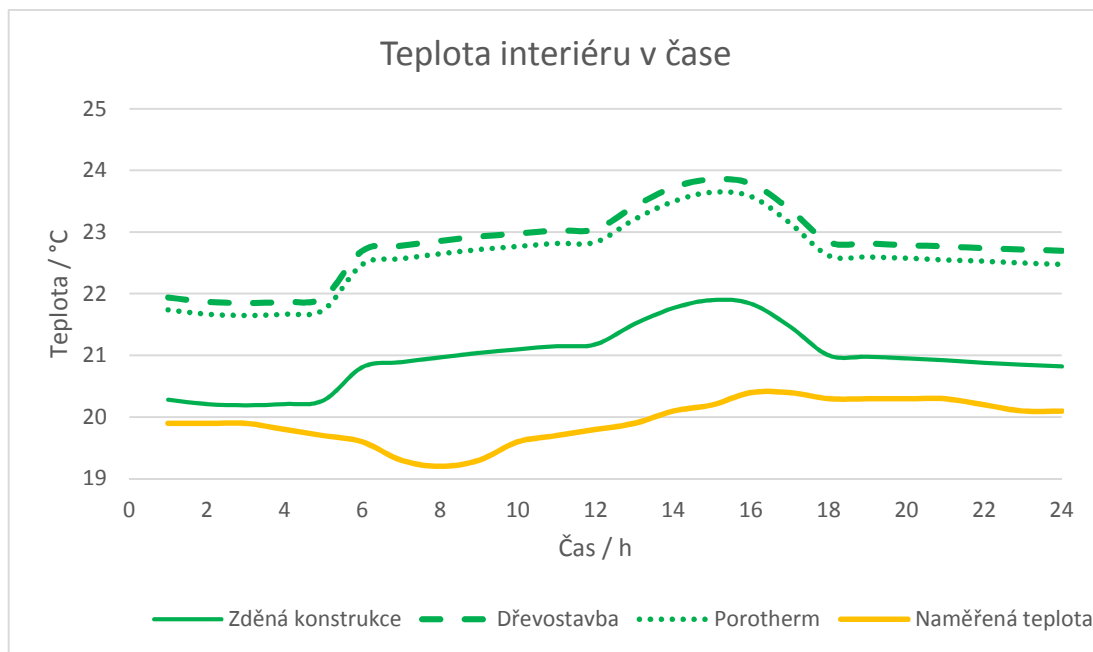
V exteriéru bylo přes den maximální teplota 27,5 °C a to ve tři hodiny odpoledne. Pro konstrukci dřevostavby vychází maximální interiérová teplota 21,25 °C také v 15 hodin a pro pokoj se stěnou z Porothermu je maximální teplota skoro stejná 21,24 °C. U zděné konstrukce z klasických cihel bylo denní maximum 20,69 °C.

Tabulka č. 11: Maximální teplota interiéru podle programu Simulace

| | Maximální teplota [°C] | Čas [h] |
|-------------|---------------------------|---------|
| Zděná z CPP | 20,69 | 15 |
| Dřevostavba | 21,25 | 15 |
| Porotherm | 21,24 | 15 |

9.6 Porovnání výsledků při změně intenzity větrání

V dalším kroku jsem přistoupila k porovnání výsledků letní tepelné stability při výměně vzduchu poloviční než v předchozím případě. Všechny ostatní podmínky zůstaly stejné. Došlo pouze k výměně násobnosti větrání za hodinu z 10 na 5. Časy větrání zůstaly stejné, tedy od 1:00 do 5:00 ráno. Výsledky jsou zaneseny do grafu č. 16.



Graf č. 16: Průběh teploty interiéru podle Simulace pro různé konstrukce při $n = 5$

Po změně intenzity větrání na polovinu je možné sledovat větší rozdíly teplot u jednotlivých konstrukcí. Jednou z viditelných změn je, že interiérové teploty dřevostavby a stavby z tvarovek Porotherm už se neliší pouze o setiny, ale o desetiny. Je zde vidět, že keramická tvarovka má nepatrnou větší schopnost akumulace tepla než stěna této dřevostavby. Interiér zděné konstrukce z plných pálených cihel zůstal nejchladnějším, ale je možné pozorovat také značný přírůstek vnitřní teploty po celý den. Nejvyšší teploty jsou zaneseny do tabulky č. 12.

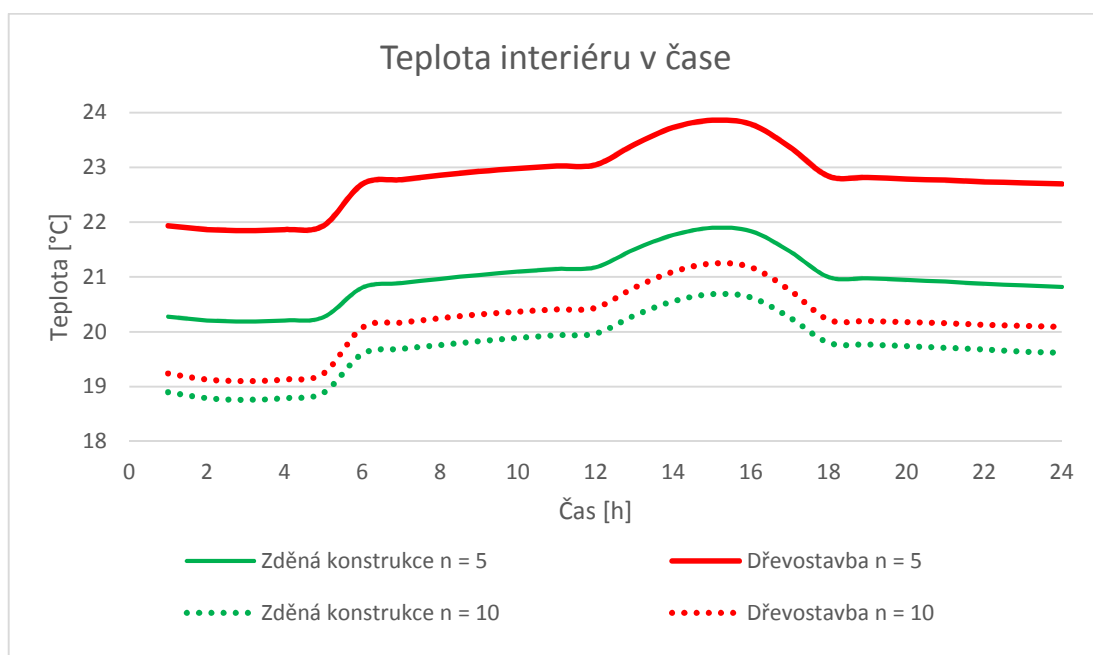
Tabulka č. 12: Maximální teplota interiéru podle programu Simulace

| | Maximální teplota [°C] | Čas [h] |
|-------------|------------------------|---------|
| Zděná z CPP | 21,90 | 15 |
| Dřevostavba | 23,86 | 15 |
| Porotherm | 23,65 | 15 |

9.6.1 Porovnání výsledků při změně intenzity větrání

V další fázi jsem provedla porovnání dvou interiérů, které mají všechny podmínky nastaveny stejně, kromě intenzity výměny vzduchu v místnosti. V prvním případě je předpoklad výměny vzduchu v pokoji 5krát v hodině po dobu 5 hodin v noci a v druhém případě je tato výměna 10násobná. Porovnány jsou poté interiérové teploty během jednoho dne pro zadanou konstrukci z cihel plných pálených a pro konstrukci dřevostavby.

V následujícím grafu č. 17 je názorně vidět, jak moc ovlivní denní teploty interiéru pouze odlišné vyvětrání místnosti během noci. Zelená barva představuje teploty v místnosti se zděnou konstrukcí a červená barva mapuje průběh teplot v místnosti dřevostavby.



Graf č. 17: Porovnání průběhu teploty interiéru podle Simulace pro dvě různé konstrukce při $n = 5$ a $n = 10$

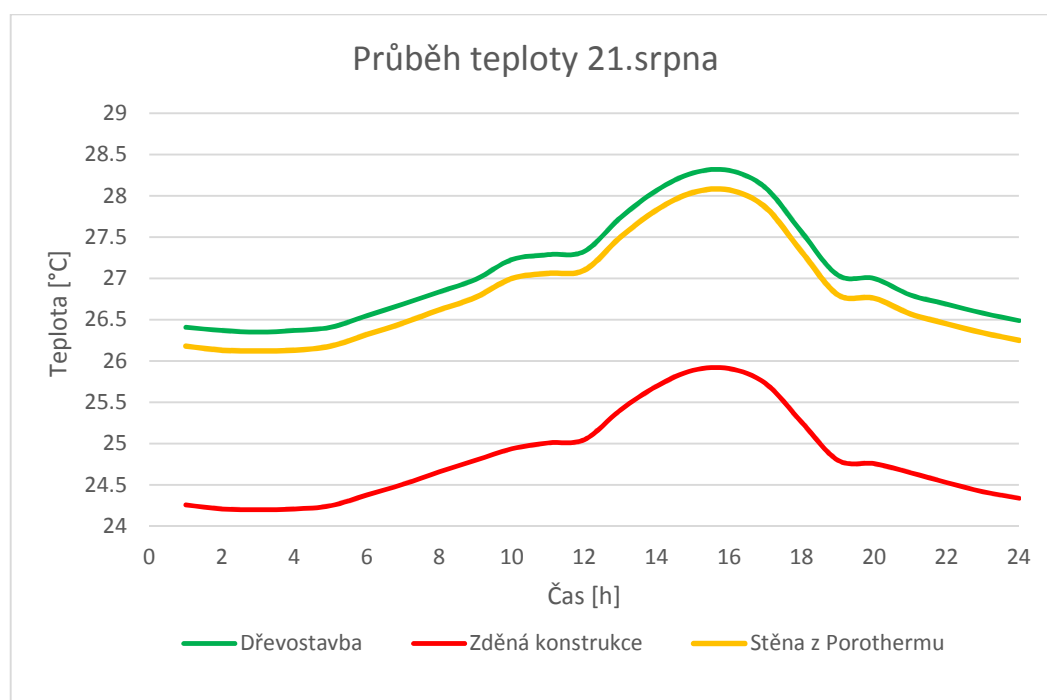
Z výsledků plyne, že v případě omezení větrání z 10 na 5krát za hodinu vzroste teplota v místnosti po celý den konstantně ale v případě dřevostavby téměř o 13 %, kdežto

u konstrukce z CPP jen o 6 %. Tento rozdíl je důvodem různé tepelné jímavosti konstrukce, přičemž konstrukce z pálených cihel má hodnotu tepelné jímavosti vyšší.

9.7 Porovnání výsledků pro 21. srpen, dle ČSN

V poslední fázi průzkumu byly zadány do Simulace opět stejné konstrukce, ale výpočet byl proveden podle normy ČSN 730540. Exteriérové podmínky byly tedy doplněny podle 21. srpna a intenzita větrání podle tabulky H.9 v téže normě.

Sledovat průběh teplot ve třech různých pokojích je možné v grafu č. 18, kde červená barva zastupuje průběh teplot v místnosti se zděnou obvodovou konstrukcí, žlutá barva s obvodovou stěnou z tvárnic Porotherm a zelená barva dřevostavbu.



Graf č. 18: Porovnání průběhu teploty interiéru podle podmínek ČSN 730540 ve třech různých interiérech

Jelikož norma ČSN 730540-2:2011 stanovuje nejvyšší možnou povolenou teplotu v letním období v interiérech nevýrobních objektů na 27 °C lze podle výsledků

konstatovat, že podmínky splňuje pouze místnost s obvodovou konstrukcí z cihel plných pálených. V případě dvou dalších konstrukcí je teplota v místnosti vyšší už od dopoledních hodin (10:00) a trvá až do 18. hodiny večerní. Místnost s obvodovou stěnou z CPP, dosahuje nejvyšší teploty 25,91 °C a u obou dalších konstrukcí je to mírně nad 28 °C.

Tabulka č. 13: Maximální teplota interiéru podle programu Simulace (21. srpen)

| | Maximální teplota [°C] | Čas [h] |
|-------------|---------------------------|---------|
| Zděná z CPP | 25,91 | 16 |
| Dřevostavba | 28,31 | 16 |
| Porotherm | 28,07 | 16 |

Bylo by tedy vhodné řešit tuto skutečnost jinými prostředky, jako je například návrh lepšího stínění formou rolety, žaluzií nebo ještě lépe například prostřednictvím venkovní markýzy.

10. ZÁVĚR

V závěru práce se pokusím shrnout poznatky ke kterým jsem došla po provedení jednotlivých experimentů. Diplomová práce byla zaměřena na vliv hliněných omítek na tepelnou stabilitu místnosti. Zabývala jsem se tedy vlivem vlhkosti a teploty interiéru na součinitele tepelné vodivosti hliněných omítek. Dále jsem zkoumala vliv větrání na koncentraci CO_2 v místnosti a zda je jednoduché udržet jeho míru pod předepsanou hygienickou hranicí. V posledním kroku jsem provedla numerické ověření stability místnosti v letním období za pomoci softwaru Simulace. Jednalo se o komparaci dvou geometricky identických pokojů se shodnými okrajovými podmínkami, ale s rozdílnou obvodovou konstrukcí.

V první části měření součinitele tepelné vodivosti výsledky ukázaly, že vlhkost vzduchu v interiéru nijak významně neovlivňuje tepelně-technické vlastnosti hliněných omítek. Součinitel tepelné vodivosti deklaruje firma PICAS jako menší než $0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Z výsledků byl vypočítán medián, který činí po zaokrouhlení $0,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. S touto hodnotou korespondují všechny výsledky i s jejich odchylkami, s výjimkou měření číslo 3, které se ovšem této hodnotě alespoň blíží seshora.

Jsem přesvědčena, že mé měření by lépe vystihovalo realitu, kdybych mohla pracovat s významně větším počtem naměřených hodnot. Tento pokus s hliněnými omítkami tedy pouze poukazuje na jednu z dobrých vlastností hlíny jako stavebního materiálu. Tyto vlastnosti by bylo vhodné prozkoumat pečlivěji.

Po pozorování koncentrace oxidu uhličitého v místnosti jasně vyplývá, že je docela složité udržet míru koncentrace pod 1000 ppm v případě neustálého pobytu lidí v místnosti. Když se v pokoji nikdo nezdržoval, hodnoty byly naopak velmi nízké.

V našem případě je výhodné, že obývací pokoj je poměrně prostorný ($A = 38,5 \text{ m}^2$) a proto trvá kratší dobu oproti menším prostorům, než koncentrace dosáhne meze 1000 ppm. Je zřejmé, že tento problém vzniká hlavně v chladnějších obdobích, kdy člověk neotevívá okna tak často.

Co se týče relativní vlhkosti vzduchu, v našem případě byla spíše nižší. Je také pravdou, že ať docházelo k větrání častěji či méně často, nikdy se neprojevil ani nejmenší problém s plísněmi. Lze se přitom domnívat, že ve starších budovách s vyšší vlhkostí vzduchu, novými plastovými okny a konvekčním vytápěním musí být velmi složité se přes zimu plísním vyhnout.

Programem Simulace byla ověřena letní tepelná stabilita pro tři pokoje, pokaždé s jinou obvodovou stěnou. Výsledky teplotního vývoje v interiéru pokoje ukazují, že pokoj s obvodovou konstrukcí dřevostavby se slaměnou izolací má téměř identický průběh interiérových teplot s pokojem, který má obvodovou stěnu postavenou z tvárnic Porotherm. Toto je dáno tepelnou jímavostí stěny. Zeď z cihel plných pálených má tepelnou jímavost vyšší, a proto jsou interiérové teploty po celý den nižší než v případě prvních dvou konstrukcí.

Dále byl prokázán, jak velký vliv na průběh interiérové teploty má pouze způsob větrání. Při změně násobnosti větrání v noci na polovinu vzrostly teploty konstantně až o 14 % v případě místnosti s obvodovou konstrukcí dřevostavby.

V poslední řadě bylo dokázáno, že vnitřní teploty místnosti dřevostavby a místnosti z tvárnic Porotherm nevyhovují podmínkám podle normy ČSN 730540-2:2011 na maximální teplotu interiéru 27 °C. Je tedy nutné řešit letní tepelnou stabilitu například lepším stíněním. Místnost s obvodovou stěnou z cihel plných pálených této podmínce vyhovuje.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Stunning Green Family Home Set in the California Redwoods.
www.inhabitat.com [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://inhabitat.com/stunning-green-family-home-set-in-the-redwoods/>
- [2] Timberframe & Strawbale home.
www.landandshelter.com [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://www.landandshelter.com/architecture/strawbale-timberframe-residence-in-old-snowmass>
- [3] Podnebí ČR.
www.hajduch.net [online]. [cit. 2016-11-17].
Dostupné z: <http://geo.hajduch.net/cesko/priroda/podnebi>
- [4] Klima České republiky.
www.in-pocasi.cz [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv/klima.php>
- [5] Historické extrémy.
www.portal.chmi.cz [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/historicke-extremy>
- [6] Vytápění a tepelná pohoda.
www.szu.cz [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czsp/edice/plne_wnani/plakaty/VYTAPENI_A_TEPELNA_POHODA_verze_pro_web_SZU.pdf
- [7] Teplotní gradient.
www.a-technology.cz [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://a-technology.cz/administrace/core/upload/8519172Tek-HeatRad-Man.jpg>
- [8] KULHÁNEK, František. *Tepelná ochrana a energetika budov: TP 1.8.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-48-0.
- [9] *Klimatizace Hykl* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.klimatizace-hykl.cz/>
- [10] *Klimatizace eu*. *Www.klimatizace.eu* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.klimatizace.eu/files/obrazky/obr-klimatizace.jpg>

- [11] Internetové servery. *Www.ci.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: http://img.ceskyinternet.cz/clanky/odstavce_nahledy/t_23058-554019-1_t_1272620057129_05.jpg
- [12] Větrání v nových a stávajících budovách. *Www.ckait.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: http://www.ckait.cz/sites/default/files/Mathauserova_rizika.pdf
- [13] Stínící prvky – součást moderní výstavby. *Www.asb-portal.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/okna-dvere/stinici-prvky-soucast-moderni-stavby>
- [14] Stavebnictví a bytová výstavba v roce 2014. *Www.czso.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/31647173/20003615t.pdf/5e11e0f4-91e0-46de-82d4-36377741fa2a?version=1.1>
- [15] České stavebnictví v číslech 2013. *Www.ckait.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: http://www.ckait.cz/sites/default/files/esk%C3%A9%20stavebnictv%C3%AD%20v%20%C4%8D%C3%ADslech_2013_rozes%C3%ADlka.pdf
- [16] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [17] Hliněné nepálené cihly. *Www.drevostavby.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: www.drevoastavby.cz/images/stories/zdrave_bydleni/createrra%202.jpg
- [18] Hliněné panely. *Www.izolace-konopi.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: www.izolace-konopi.cz/pictures/images/products/22/hlineny-panel-16-mm_1-240.jpg
- [19] Využití hliněných materiálů ve výstavbě. *Www.casopisstavebnictvi.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-hlinenych-materialu-ve-vystavbe_N3038
- [20] Tradiční technologie. *Www.hlina.info* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: www.hlina.info/cs/hlinene-stavitelstvi/hlina-stavebni-material/tradicni-technologie.html
- [21] Trojúhelníková síť - obsah jílu. *Www.web2.mendelu.cz* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/217/14725.jpg

- [22] *Hliněné omítky* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.hlinene-omitky.cz/>
- [23] *Hliněné omítky PICAS* [online]. [cit. 2016-12-17].
Dostupné z: <http://www.picas.cz>
- [24] MINKE, Gernot a Friedemann MAHLKE. *Příručka hliněného stavitelství: materiály - technologie - architektura*. Bratislava: Pagoda, c2009. ISBN 978-80-969698-2-1.
- [25] Čerstvý vnitřní vzduch. [Http://www.stavebnictvi3000.cz](http://www.stavebnictvi3000.cz) [online].
[cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/cerstvy-vnitri-vzduch-nejvyssi-stavebni-hodnota/>
- [26] Ekopanely. *Ekopanely* [online]. [cit. 2017-01-09].
Dostupné z: <http://www.ekopanely.cz/sluzby-a-produkty/ekopanely/>

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky

| | |
|-----|--------------------|
| ČR | Česká republika |
| ČSN | Česká státní norma |
| EN | Evropská norma |
| RD | rodinný dům |
| BD | bytový dům |
| P+D | pero a drážka |
| CPP | cihla plná pálená |

Symboly

| | | |
|-------------|---|---|
| θ_i | teplota vzduchu v interiéru | (°C) |
| θ_e | teplota vzduchu v exteriéru | (°C) |
| Φ | absolutní vlhkost vzduchu | (g·m ²) |
| φ | relativní vlhkost vzduchu | (%) |
| R_{se} | tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně | (m ² ·K·W ⁻¹) |
| λ | součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce | (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) |
| λ_K | charakteristická hodnota součinitel tepelné vodivosti | (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) |
| λ_N | návrhová hodnota součinitel tepelné vodivosti | (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) |
| U | součinitel prostupu tepla | (W·m ⁻² ·K ⁻¹) |
| m | hmotnost vzorku | (g) |
| A | plocha | (m ²) |
| B | tepelná jímavost | (W·s ^{0.5} ·m ⁻² ·K ⁻¹) |
| f | pevnost | (Mpa) |
| ρ | objemová hmotnost | (kg/m ³) |
| μ | faktor difúzního odporu | (-) |
| c | měrná tepelná kapacita | (J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹) |